

**Gleica Cândido Santos**

**COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM CAMPOS  
RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS DA SERRA DO ESPINHAÇO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Israel Marinho Pereira

Co-orientador: Prof. Dr. Orivaldo José Saggin Júnior

**Diamantina – MG**

**2016**

Ficha Catalográfica – Serviço de Bibliotecas/UFVJM  
Bibliotecário Anderson César de Oliveira Silva, CRB6 – 2618.

S237c Santos, Gleica Cândido  
Comunidade de fungos micorrízicos arbusculares em campos  
rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço / Gleica  
Cândido Santos. – Diamantina, 2016.  
67 p. : il.

Orientador: Israel Marinho Pereira  
Coorientador: Orivaldo José Saggin Júnior

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciência  
Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e  
Mucuri.

1. Mineração. 2. Glomalina. 3. Dark Septate Endophytes.  
4. Vellozia ramosissima. 5. Eremanthus incanus. I. Título  
II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

**CDD 631.45**

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**“COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM  
CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS DA  
SERRA DO ESPINHAÇO.”**

**Gleica Cândido Santos**

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Florestal,  
nível de Mestrado, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
Mestre.

APROVADO EM 29 / 04 / 2016

Pesquisador Orivaldo José Saggin Júnior – EMBRAPA  
AGROBIOLOGIA

Prof. Evandro Luiz Mendonça Machado – UFVJM

Dra. Michele Aparecida Pereira da Silva - UFRRJ

Prof. Israel Marinho Pereira – UFVJM  
Presidente

DIAMANTINA  
2016



*Aos meus pais Artur e Glória.*

*Ao meu irmão Albano.*

***Dedico.***



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me injetar fôlego e ânimo, em todos os momentos que precisei.

À Tia Elza (*in memoriam*) por ter sido minha fonte de paciência e perseverança durante as análises. Sei que hoje ela está sorrindo ao ver que tudo deu certo!

À minha família pela energia positiva transmitida através das palavras de conforto que sempre me fizeram manter a serenidade.

Ao meu anjo da guarda, Rodolfo, pelo amor, companheirismo e por compreender minhas limitações.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pela estrutura disponibilizada; aos professores do Departamento de Engenharia Florestal, pela formação profissional e auxílio que, muitas vezes, se estendeu além do expediente de trabalho.

Ao meu orientador Israel Marinho Pereira, pelo incentivo, amizade e carinho transmitidos ao longo desses anos de orientação. Pelo espelho profissional e pessoal que sempre representou, demonstrando que acima de títulos, o ser humano precisa ter essência.

Ao meu co-orientador, Orivaldo José Saggin Júnior, pelo auxílio, conhecimento repassado, considerações realizadas e, principalmente, pela oportunidade de realizar este trabalho.

À banca examinadora pelo debate de ideias importantes e sugestões.

À CAPES e a Anglo American pelo auxílio financeiro.

À família NERAD (Núcleo de Estudos em Recuperação de Áreas Degradadas) pelo conhecimento trocado e pelas amizades construídas.

A todos que me ajudaram nos trabalhos desenvolvidos durante o mestrado, bem como nas “íngremes” coletas de campo, especialmente Michele, Múcio, Denise, Samuel, Luana, Ângelo, Aline, Abisague, Laura, André, Cristiane e Ricardo.

Aos funcionários da UVFJM, principalmente a equipe de limpeza pela simpatia, Gilmar e Madalena por NUNCA colocarem empecilhos em ajudar!

Aos técnicos Breno, Xavier, Thiago Otoni e Awdréia (*in memoriam*) pela maneira gentil com a qual me auxiliaram a solucionar todos os problemas que apareceram ao longo dessa jornada.

Aos funcionários do Centro Integrado de Propagação de Espécies Florestais (CIPEF), em especial Fábio, pela imensurável ajuda desde a graduação e pela amizade.

Ao pessoal do Laboratório de Micorrizas da Embrapa Agrobiologia pela convivência e aprendizado.

Ao Itamar pelo auxílio na identificação das espécies de fungos.

À Cristiane pela ajuda na extração e quantificação da glomalina.

Ao Pesquisador Ederson da Conceição Jesus, pela boa vontade de sempre. Serei eternamente grata a você por isso!

Ao alojamento da pós-graduação da Embrapa Agrobiologia, pela acolhida, experiência única de convivência e amizades estabelecidas.

Aos amigos de longa data, aos amigos diamantinenses, irmãs de república e amigos do alojamento por tornarem a caminhada mais leve.

Vocês foram fundamentais!



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sítios de estudo em Campos Rupestres Quartzíticos a) CRQ1 e b) CRQ2 da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG. ....	39
Figura 2 - Sítios de estudo em Campos Rupestres Ferruginosos a) CRF1 e b) CRF2 da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG. ....	40
Figura 3 - Densidade de esporos verificada em a) campos rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço (MG) b) para as espécies candeia e canela-de-ema. Letras minúsculas comparam médias pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância. ....	49
Figura 4 - Quantidade de proteína do solo relacionada à glomalina, a) para as frações facilmente extraível (GFE) e total (GT) calculadas por sítio e b) para a fração total calculada por espécie. Letras minúsculas comparam médias de GFE entre si e letras maiúsculas comparam médias de GT no gráfico a, pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância. ....	49
Figura 5 - Diagrama de ordenação (PCA) das variáveis analisadas e atributos do solo relacionados à rizosfera de canela-de-ema e candeia em dois sítios de campo rupestre quartzítico (CRQ1 e CRQ2) e campo rupestre ferruginoso (CRF1 e CRF2) da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais. ....	51
Figura 6 - Diagrama de ordenação PCoA - Sorensen (Bray-Curtis) obtido pela contagem de espécies de FMAs na rizosfera de canela-de-ema e candeia em dois sítios de campo rupestre quartzítico (CRQ1 e CRQ2) e dois de campo rupestre ferruginoso (CRF1 e CRF2) na Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais. ....	52



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altitude e características químicas dos solos dos campos rupestres quartzíticos (CRQ) e ferruginosos (CRF) selecionados para estudo da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil .....	39
Tabela 2 - Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de candeia e canela-de-ema para ambientes de campo rupestre ferruginoso (CRF) e campo rupestre quartzítico (CRQ), na Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil .....	45
Tabela 3 - Frequência de ocorrência (FO) e abundância relativa (AR) de FMAs em áreas de campo rupestre quartzítico e ferruginoso da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, durante a época seca de 2015 .....	47
Tabela 4 - Resumo de significância obtido pela Análise de variância para as variáveis avaliadas em campos rupestres da Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro (MG), em função das espécies estudadas e locais de amostragem .....	48
Tabela 5 - Número de espécies de FMAs na rizosfera de canela-de-ema e candeia, em campos rupestres da Serra do Espinhaço, MG .....	48
Tabela 6 - Colonização das raízes de canela-de-ema e candeia por Fungos Micorrízicos Arbusculares e <i>Dark Septate Endophytes</i> , em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG, durante estação seca .....	50
Tabela 7 - Espécies de FMAs com resultados significativos para análise de espécie indicadoras (ISA) na rizosfera de candeia e canela-de-ema, para campos rupestres ferruginosos (CRF1e CFR2) e quartzíticos (CRQ1 e CRQ2). Em que: VIO = valor indicador observado; VIE = valor indicador esperado; s = desvio padrão; <i>p</i> = significância para o teste de Monte Carlo .....	52
Tabela 8 - Riqueza de espécies (S) e Índices de Shannon (H'), Simpson 1-D (S') e Pielou (J') para as espécies de fungos micorrízicos arbusculares amostradas .....	53
Tabela 9 - Matriz de significância, obtida pelo teste t de Hutcheson, para o índice de diversidade de Shannon (H') da comunidade de FMAs da rizosfera de candeia (C) e canela-de-ema (V), em áreas de campo rupestre ferruginoso (CRF) e campo rupestre quartzítico (CRQ) da Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais .....	54
Tabela 10 - Matriz de similaridade obtida pelo índice de Jaccard para a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares presentes na rizosfera de candeia em dois sítios de campos rupestre quartzítico e dois de campo rupestre ferruginoso na Serra do Espinhaço, MG .....	54
Tabela 11 - Matriz de similaridade obtida pelo índice de Jaccard para a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares presentes na rizosfera de canela-de-ema em dois sítios de campos rupestre quartzítico e dois de campo rupestre ferruginoso na Serra do Espinhaço .....	54
APÊNDICE A - Características químicas dos solos dos campos rupestres quartzíticos (CRQ) e ferruginosos (CRF) selecionados para estudo da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil .....	67



## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	15
REFERÊNCIAS .....	17
CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA.....	19
1. AMBIENTE DE ESTUDO.....	19
2. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES .....	20
3. GLOMALINA .....	21
4. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SUA PARTICIPAÇÃO ECOLÓGICA .....	23
REFERÊNCIAS .....	25
CAPÍTULO 2: COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS DA CADEIA DO ESPINHAÇO, MINAS GERAIS, BRASIL. ....	33
RESUMO .....	33
ABSTRACT .....	35
1. INTRODUÇÃO .....	37
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	39
2.1. Localização e caracterização da área de estudos .....	39
2.2. Amostragem.....	40
2.3. Extração dos esporos do solo e identificação das espécies de FMAs.....	41
2.4. Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) .....	41
2.5. Quantificação do grau de colonização das raízes por FMAs.....	42
2.6. Análises dos dados.....	42
3. RESULTADOS .....	45
3.1. Densidade de Esporos e Espécies de FMAs .....	45
3.2. Glomalina .....	49
3.3. Colonização das Raízes .....	49
3.4. Análises ecológicas.....	50
4. DISCUSSÃO .....	55
4.1. Densidade de Esporos e Espécies de FMAs .....	55
4.2. Glomalina .....	57
4.3. Colonização das raízes.....	57
4.4. Análises ecológicas.....	58
5. CONCLUSÕES .....	61
REFERÊNCIAS .....	61



## INTRODUÇÃO GERAL

A mineração de ferro é uma atividade fundamental tanto para a economia brasileira (IBRAM, 2015) quanto para a manutenção da qualidade de vida da população. Apesar de ser considerada uma atividade de impacto pontual, quando comparada a outras atividades antrópicas como a prática da agricultura e pecuária, os impactos ambientais resultantes da mineração de ferro são, segundo legislação atual, classificados como diretos, de alta magnitude e irreversíveis (CARMO, 2012). Desde a fase de instalação do empreendimento minerário, até o início da operação da mina, uma das primeiras etapas realizadas é sempre a supressão da vegetação e a retirada da camada orgânica do solo (REGENSBURGER, 2004). Diante do revolvimento do solo e subsolo, o que persiste após a mineração, geralmente, é um substrato alterado do ponto de vista físico, químico e biológico (FOX et al., 1991; FRANCO et al., 1994).

No Brasil, a maioria das áreas de mineração de ferro está relacionada a ambientes montanhosos, onde tipicamente incide uma vegetação denominada campo rupestre (CR). Tal fitofisionomia é composta por ambientes marcados pela associação entre afloramentos rochosos, vegetação herbáceo-arbustiva e solos rasos, ácidos e nutricionalmente pobres (RIBEIRO; WALTER, 2008). A maior parte dos campos rupestres brasileiros está distribuída na Cadeia do Espinhaço, de maneira que os estados de Minas Gerais e Bahia, juntos, abrigam mais de 90% dos campos rupestres do território nacional (ALVES et al., 2014).

A Cadeia do Espinhaço é reconhecida internacionalmente em função do elevado grau de endemismo concentrado em seu território (ALVES et al., 2014). Abrange ecossistemas de Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado, bem como faixas de transição entre os mesmos (SILVEIRA et al., 2015). Os solos, quando presentes, representam grande fonte de variação entre ambientes. Estes se diferenciam de acordo com a rocha de origem, o que mantém a paisagem alternada entre campos rupestres ferruginosos e campos rupestres quartzíticos. Desta forma, é comum verificar o episódio de agrupamentos de uma ou mais espécies, como observado entre indivíduos de candeia (*Eremanthus incanus*) e canela-de-ema (*Vellozia ramosissima*), que ocorrem tanto em aglomerações específicas como de maneira conjunta.

Sobretudo atribui-se aos campos rupestres a possível responsabilidade por essa acentuada singularidade presente no Espinhaço, uma vez que a composição desta matriz heterogênea é favorável a uma rica biodiversidade com alto grau de endemismo (LE STRADIC, 2015). Todavia, a ausência de políticas específicas voltadas para os campos rupestres e a carência de profissionais treinados para atuarem de maneira multidisciplinar

nestes ambientes, podem fazer com que estes passem despercebidos nos licenciamentos ambientais, sem ao menos serem identificados antes da supressão (VASCONCELOS, 2014).

Ao ponderar os desfechos da operação de minas a céu aberto, deve-se salientar, dentre outros fatores, as condições finais desfavoráveis para o reestabelecimento da vegetação e, principalmente, da microbiota ativa do solo. A microbiota do solo é um componente chave na manutenção de um ecossistema em equilíbrio (SIQUEIRA et al., 1994) e muitas espécies vegetais dependem das vantagens adquiridas em relações de simbiose, com fungos e bactérias, para colonizarem ambientes inóspitos.

Os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs) são exemplos de organismos simbiontes fundamentais para a dinâmica e diversidade ecológica nos variados ambientes. Além do papel crucial no suporte de serviços ecológicos (GUADARRAMA et al., 2014), este grupo é responsável por uma gama de melhorias em seu hospedeiro, abrangendo desde o aspecto nutricional até o aumento da tolerância a estresses e patógenos. No entanto, pouco se sabe a respeito da comunidade nativa de FMAs dos campos rupestres quartzíticos e ferruginosos, o que restringe a utilização dessa ferramenta a favor da condução da sucessão ecológica nestes ambientes após drásticas interferências antrópicas, como a mineração.

A ínfima quantidade de propágulos destes fungos encontrada em áreas degradadas pela mineração, associada ao fato dos FMAs serem simbiontes obrigatórios, ou seja, dependem da associação com plantas compatíveis para sua multiplicação (BERBARA et al., 2006), são alguns dos fatores limitantes à rápida e natural colonização micorrízica nas áreas mineradas. Notoriamente, a recuperação desses ambientes depende do auxílio do homem para reintroduzir funções comprometidas e propiciar a retomada da resiliência no menor período de tempo possível.

Informações fundamentais quanto à comunidade de plantas e organismos do solo podem servir para incrementar atividades ambientais já realizadas pelas empresas. Sobretudo, o acesso a este tipo de conhecimento possibilita a ampliação do leque de práticas e procedimentos capazes de otimizar a recuperação das áreas degradadas e mitigar as perdas em biodiversidade.

Mediante o exposto, fica evidente a importância da realização de estudos específicos em locais sujeitos a intervenções antrópicas severas e irreversíveis, como é o caso dos campos rupestres em áreas de mineração de ferro. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar e quantificar a diversidade da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo adjacente as raízes de candeia e canela-de-ema, em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço em Minas Gerais.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, R.J.V.; SILVA, N.G.; OLIVEIRA, J.A.; MEDEIROS, D. Circumscribing campo rupestre– megadiverse Brazilian rocky montane savanas. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, n. 2, p. 355-362, 2014.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. **Fungos Micorrízicos Arbusculares: muito além da nutrição**. In: FERNANDES, M.S. Nutrição Mineral de Plantas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 53-85, 2006.
- CARMO, F.F.; CARMO, F.F.; CAMPOS, I.C.; JACOBI, C.M. Cangas: Ilhas de ferro estratégicas para a conservação. *Ciência Hoje*, v. 295, p. 49-53, 2012.
- FOX, R.L.; PENA, R.S.D.L.; GAVENDA, R.T.; HABTE, M.; HUE, N.V.; IKAWA, H.; JONES, R.C.; PLUCKNETT, D.L.; SILVA, J.A.; SOLTANPOUR, P. Amelioration, revegetation and subsequent soil formation in denuded bauxitic materials. **Allertonia**, p.128-189, 1991.
- FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E. & FARIA, S.M. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: SIMPÓSIO SULAMERICANO, 1.; **SIMPÓSIO NACIONAL: RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, 2., SOBRADE, 1994, Foz do Iguaçu. Anais. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, p.679, 1994.
- GUADARRAMA, P.; XASTILLOS, S.; RAMOS-ZAPATA, J.A., HERNÁNDEZ-CUEVAS, L.V.; CAMARGO-RICALDE, S.L. Arbuscular mycorrhizal fungal communities changing environments: The effects of seasonality and anthropogenic disturbance in a seasonal dry forest. **Pedobiologia**, v. 57, p. 87-95, 2014.
- LE STRADIC, S.; BUISSON, E.; FERNANDES, G.W. Vegetation Composition and Structure of Some Neotropical Mountain Grasslands in Brazil. *Journal of Mountain Science*, v. 12, n.4, p. 864-877, 2015.
- REGENSBURGER, B. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração de argila através da regularização topográfica, da adição de insumos e serrapilheira, e de atratores da fauna**. 2004. 99p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2ed., 2008.

SANTOS, L. M. **Restauração de campos ferruginosos mediante resgate de flora e uso de *topsoil* no quadrilátero ferrífero, Minas Gerais**. 2010. 128 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D.; BARBOSA, N.P.U.; BUISSON, E.; CARMO, F.F.; CARSTENSEN, D.W.; CONCEIÇÃO, A.A.; CORNELISSEN, T.G.; ECHTERNACHT, L.; FERNANDES, G.W.; GARCIA, Q.S.; GUERRA, T.J.; JACOBI, C.M.; LEMOS-FILHO, J.P.; STRADIC, S.L.; MORELLATO, L.P.C.; NEVES, F.S.; OLIVEIRA, R.S.; SCHAEFER, C.E.; VIANA, P.L.; LAMBERS, H. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, p. 1-24. 2015.

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos no solo: perspectiva ambiental**. Embrapa, Brasília, 142p., 1994.

VASCONCELOS, V.V. Campos de Altitude, Campos Rupestres, e Aplicação da Lei da Mata Atlântica: Estudo Prospectivo para o Estado de Minas Gerais. **Boletim Geográfico**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 110-133, 2014.

## CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA

### 1. AMBIENTE DE ESTUDO

A Serra do Espinhaço (ESCHWEGE, 1822) distribui-se no território brasileiro de maneira alongada (direção N-S) por cerca de 1200 km, abrangendo desde a região de Belo Horizonte até os limites norte da Bahia (ALMEIDA-ABREU; RENGGER, 2008). Além de grande divisor hidrográfico (SAADI, 1995) abriga faixas de ecossistemas de transição (SILVEIRA et al., 2015), com elevado grau de endemismo (GIULIETTI et al., 1987; ECHTERNACHT et al., 2011), incluindo manchas de Caatinga, áreas de Mata Atlântica e Cerrado, biomas considerados *hotspots* mundiais (GIULIETTI et al., 1997; MYERS, 2000; CARVALHO, 2010; HUGHES et al., 2013).

Os campos rupestres são fitofisionomias pertencentes ao bioma Cerrado (RIBEIRO; VALTER, 2008) encontrados em toda extensão do Espinhaço e possivelmente são os grandes reguladores da singularidade ecológica destes ambientes. Estes ambientes são marcados pelo predomínio da vegetação herbáceo-arbustiva associada a afloramentos rochosos (CONCEIÇÃO; PIRANI, 2007), altitudes elevadas (geralmente superiores a 900 m), e incidência de solos rasos de baixa fertilidade (RIBEIRO; WALTER, 2008).

As principais diferenças encontradas entre os solos de campos rupestres estão relacionadas às diferentes litologias (BENITES et al., 2003), uma vez que os campos rupestres podem ocorrer associados a diferentes tipos de rocha de origem (MOURÃO; STEHMANN, 2007). No Brasil os campos rupestres quartzíticos predominam na Cadeia do Espinhaço (GIULIETTI et al., 1987; HARLEY, 1995), já os campos rupestres ferruginosos ocorrem principalmente no Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, e na Serra dos Carajás, no Pará (MOURÃO; STEHMANN, 2007).

Os campos rupestres são caracterizados por um relevo de distribuição disjunta, onde as diversas paisagens são separadas por vales, planaltos e bacias, levando a formação de grandes mosaicos e, muitas vezes, ao isolamento geográfico de populações, o que pode explicar um dos maiores índices de endemismo dentre a flora brasileira (JOLY, 1970; BURMAN, 1991; GIULIETTI et al., 1987, 1997, 2000; GIULIETTI; PIRANI, 1988; MENEZES; GIULIETTI, 2000; BENITES et al., 2003, 2007; CONCEIÇÃO; PIRANI, 2007; MESSIAS et al., 2013). Em face da intensa radiação solar, elevada exposição ao vento, alta amplitude térmica e estresse hídrico ao qual a vegetação é exposta, apenas exemplares taxonômicos extremamente adaptados são capazes de se estabelecer e sobreviver (SCHAEFER et al., 2015).

Tem-se verificado que as espécies que habitam os CRA apresentam uma gama de estratégias de sobrevivência e adaptações o que faz deste ecossistema um importante banco genético, ainda pouco explorado (BENITES, 2001). Algumas famílias botânicas tem seu centro de diversidade concentrado nos campos rupestres, como é o caso da Velloziaceae cuja taxa de endemismo chega a até 70% na Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais (MELLO-SILVA, 1995).

De maneira geral, destaca-se a importante presença de espécies das famílias Asteraceae e Velloziaceae como componentes das diferentes paisagens dos campos rupestres quartzíticos e ferruginosos (BENITES, 2003; SILVEIRA et al., 2015). Os vegetais se beneficiam de pequenas depressões para se estabelecerem, onde há maior carreamento e consequente deposição de areia e matéria orgânica; ou ainda de fendas nas rochas onde encontram condições para fixar suas raízes. Desta maneira, a formação vegetal é delineada à medida que o *solum* se torna mais espesso, e assim, outras plantas passam a ocupar a paisagem (BENITES et al., 2003), corroborando o comum episódio de agrupamentos de uma única espécie e a grande variação florística em apenas poucos metros de distância.

A distribuição em áreas restritas, de difícil acesso, associada ao fato dos campos rupestres recobrirem importantes depósitos de minério de ferro, inclui estes ambientes entre os ecossistemas mais ameaçados e menos estudados de Minas Gerais (JACOBI; CARMO, 2008). Os escassos estudos existentes neste ecossistema, geralmente, são restritos ao Quadrilátero Ferrífero (JACOBI; CARMO, 2008; VINCENT; MEGURO 2008; MESSIAS et al., 2012), o que resulta em inúmeras espécies vegetais e de micro-organismos, que atuam em sinergismo, ainda não descritas na Cadeia do Espinhaço.

Isso demonstra a necessidade de intensificar os estudos específicos nesta fitofisionomia, pois a nova fronteira minerária atual, que abrange os campos rupestres de Minas Gerais (VASCONCELOS, 2014), inseridos na Cadeia do Espinhaço, indica que nos próximos anos a tendência de exploração deve se intensificar e, consequentemente, a transformação da paisagem pode acarretar em perdas irreversíveis.

## **2. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES**

Dentre os micro-organismos do solo, os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), pertencentes ao filo Glomeromycota, constituem um importante grupo de destaque. Esses fungos estabelecem associação simbiótica com os vegetais, ocorrendo nos variados ambientes praticamente como regra e não como exceção (SAGGIN JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996). Desempenham papel de grande importância tanto no aspecto nutricional das plantas como na ecologia das comunidades (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os FMAs são organismos mutualistas, simbiotróficos obrigatórios, ou seja, dependem da presença do hospedeiro vegetal vivo para completar seu ciclo de vida. Associam-se com raízes de mais de 80% das plantas terrestres (WANG; QIU, 2006), formando as chamadas micorrizas arbusculares (MA). A persistência dos FMAs nos ecossistemas depende da formação e sobrevivência de seus propágulos (glomerosporos, hifas ou raízes colonizadas). Os glomerosporos são considerados estruturas de resistência, já as hifas e raízes colonizadas constituem a principal fonte de inóculo em ambientes sem perturbação ou em equilíbrio (KABIR, 2005).

A infecção do hospedeiro é desencadeada por uma gama de sinais trocados entre o fungo e as raízes. Em sequência, o fungo forma um apressório que consegue penetrar a parede celular radicular com subsequente penetração e colonização do córtex radicular (SMITH; READ, 2008), onde as estruturas fúngicas se expandem diferenciando-se em estruturas de reserva (vesículas) e absorção (micélio intrarradicular cenocítico e arbúsculos). Os arbúsculos são as principais estruturas responsáveis pelas trocas simbióticas no espaço intrarradicular (BERBARA et al., 2006). Por meio destes os fungos recebem fotossintatos e provêm a planta de sais e nutrientes.

Após estabelecida a colonização, hifas micorrízicas extra radiculares expandem-se no solo e ampliam a área de absorção radicular da planta. Isso é fundamental tanto para a absorção de água e nutrientes de baixa mobilidade, como fósforo (P) e zinco (Zn), quanto para o aumento da resistência a patógenos e tolerância a metais pesados (GÖHRE; PASZKOWSKI, 2006; DONG Y et al., 2008). O micélio radicular contribui, ainda, para o estoque de C e N no solo via produção de uma glicoproteína chamada glomalina, e pelo seu efeito na formação e estabilidade de agregados no solo (RILLIG; MUMMEY, 2006). Essa multifuncionalidade dos FMAs os torna muito mais dinâmicos do que previsíveis, o que dificulta o estabelecimento de um padrão de ocorrência e distribuição nos ambientes.

### **3. GLOMALINA**

Há relatos de que os FMAs podem contribuir significativamente para agregação do solo em relação a outros fatores bióticos (BARTO et al., 2010). Grande parte desta melhoria é creditada a glomalina, uma glicoproteína de natureza hidrofóbica, recalcitrante, termoestável, com ferro altamente ligado a sua molécula, presente em quase todos os ecossistemas terrestres (LOZANO et al., 2015). É produzida por FMAs e pode ser depositada no solo por meio da secreção hifálica ou decomposição da parede celular de hifas e esporos. No entanto, estima-se que a deposição desta proteína no solo se dê principalmente pela

decomposição de esporos e hifas (>80%) em relação à liberação passiva (DRIVER et al., 2005; PURIN; RILLING, 2008).

Atualmente tem sido atribuídas como funções principais dessa molécula a proteção das hifas quanto à dessecação e a agregação das partículas minerais e orgânicas do solo, sendo sua quantificação utilizada em estudos de agregação dos solos devido a forte correlação com a estabilidade de agregados (BARTO et al., 2010; PENG et al., 2013), cuja contribuição é importante na sustentabilidade dos ecossistemas (LUTGEN et al., 2003).

Além de sua função cimentante, fundamental para o incremento do reservatório de carbono do solo (DRIVER et al., 2005), a glomalina sequestra metais pesados, ligando-os a sua molécula. Isso promove a imobilização de poluentes na interface solo-hifa e consequentemente reduz a disponibilidade destes elementos potencialmente tóxicos no solo, favorecendo o crescimento de organismos e plantas (GONZÁLEZ-CHÁVEZ et al., 2004). Provavelmente a glomalina tenha o papel de ser uma conciliadora entre solo e planta, possibilitando que vegetais recubram extensas áreas que abrigam jazidas minerais, como é o caso dos campos rupestres, onde as concentrações de ferro são extremamente altas.

Normalmente a proteína do solo relacionada à glomalina é separada em duas frações: Glomalina Facilmente Extraível (GFE) e Glomalina total (GT) (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996). A GFE relaciona-se à proteína recentemente produzida pelos FMAs, enquanto que a GT seria o resultado do acúmulo da GFE ao longo do tempo, recalcitrando frente às ações de intemperismo (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996; KOIDE; PEOPLES, 2013; WU et al., 2014). Para extração de ambas as frações comumente utiliza-se solução de citrato de sódio 20-50  $mmol L^{-1}$ , pH 7,0 ou 8,0, associada a elevada temperatura (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996).

Enquanto a maioria das proteínas é desnaturada em temperaturas entre 50 e 80 °C (KEELEY, 2009), a proteína do solo relacionada a glomalina é extraída a partir do solo a 121 °C (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996), demonstrando sua estabilidade ao calor e consequentemente sua permanência relativamente longa no solo (STEINBERG; RILLIG, 2003; LOZANO et al., 2015).

No entanto, a eficiência da extração da glomalina do solo depende de outros fatores além do extrator utilizado, como, por exemplo, do pH da solução extratora e da temperatura durante o processo de extração. Contudo, características químicas e físicas dos solos, bem como temperatura e período de armazenamento das amostras, possivelmente também podem influenciar na quantidade de glomalina extraída (SOUSA et al., 2012).

Há diversos relatos de que a produção de glomalina pode ser influenciada pelo sistema de uso do solo (MAIA et al., 2015; SILVA, 2015). Todavia, a deposição da proteína no solo está estreitamente atrelada à elevada sensibilidade dos FMAs quanto às mudanças no ambiente, logo a presença e o tipo de vegetal possivelmente afetam diretamente a produção da mesma (WRIGHT; ANDERSON, 2000; BIRD et al., 2002; RILLING et al., 2002).

#### **4. FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E SUA PARTICIPAÇÃO ECOLÓGICA**

Os microrganismos do solo e as propriedades do solo a eles relacionadas podem ser muito úteis para compreender a dinâmica e funcionalidade dos ecossistemas, consequentemente para planejar a recuperação de áreas e verificar a qualidade dos solos (RILLING et al., 2003; MORUGÁN-CORONADO et al., 2013; ZORNOZA et al., 2015; LOZANO et al., 2015). Entretanto, apesar da quantificação do teor de glomalina no solo ser considerada como uma boa técnica indicadora da atividade dos FMAs (relativamente rápida, barata e simples de ser executada) (SOUSA et al., 2012), pouco se sabe a respeito da especificidade das plantas nativas em relação à promoção de espécies de fungos que alterem a deposição desta proteína no solo, principalmente quando refere-se a espécies rupestres.

Os FMAs constituem um grupo amplamente diverso, tanto em termos de número de espécies quanto em função (CARVALHO, 2010). As espécies de fungos diferem entre si na capacidade de associar-se e beneficiar a planta hospedeira (BETHLENFALVAY et al., 1989; SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996), de forma que apenas o genótipo da planta hospedeira e do FMA não são os únicos responsáveis pela simbiose, mas sobretudo os fatores edáficos.

A efetividade simbiótica, definida como capacidade do fungo em promover o crescimento da planta hospedeira, é controlada pela eficiência do fungo, pela dependência da planta e modulada pelo ambiente (BRUNDRETT, 1991; KOIDE, 1991; SIQUEIRA, 1991). Como consequência as respostas de uma mesma espécie vegetal a diferentes FMAs são muito diferenciadas e altamente específicas em determinada condição ambiental (KLIRONOMOS, 2000). Neste espectro se presume que a diversidade é um fator importante para garantir a funcionalidade equilibrada do ecossistema.

Do ponto de vista da sucessão ecológica, os FMAs atuam na composição das comunidades de plantas e nichos ecológicos, visto que a contribuição destes microrganismos varia entre as espécies de plantas nativas e os grupos sucessionais (FRANCIS; READ, 1994, 1995). Dentre os grupos sucessionais, as espécies vegetais pioneiras e as secundárias tendem a mostrar respostas mais evidentes à presença de FMAs, devido à rápida

taxa de crescimento e alta velocidade de influxo de nutrientes para sustentar esse crescimento. Espécies clímax, embora possam ser altamente dependentes de FMAs, podem apresentar menor resposta em crescimento (SAGGIN JUNIOR, 1997). Desta forma, as melhorias proporcionadas às espécies arbóreas micotróficas nas fases iniciais da sucessão, podem possibilitar o estabelecimento e o crescimento de plântulas das fases mais tardias da sucessão (ZANGARO FILHO et al., 2000).

Deve-se ressaltar que outros fungos do solo também podem associar-se a plantas já colonizadas com FMAs, resultando em interações complexas, com ações antagonistas, sinérgicas e neutras. O balanço entre as relações inter e intraespecíficas é essencial para a vida na Terra (BERBARA et al., 2006), pois é um dos mecanismos apontados como facilitador da coexistência de espécies e responsável por expressar a imensa diversidade e endemismos da flora brasileira (VAN DER HEIJDEN et al., 1998). Um exemplo dessas interações pode ser verificado na co-ocorrência com fungos de hifas septadas, denominados *Dark Septate Endophytes*, cujas funções no ecossistema ainda não são totalmente elucidadas, no entanto aparentemente relacionadas ao ganho em área radicular e aumento da competitividade; podendo conduzir a dinâmica da comunidade de plantas através de respostas específicas do hospedeiro e captação de recursos (MANDYAM; JUMPPONEN, 2005).

O conhecimento da comunidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares, principalmente em locais pouco estudados e com alto grau de intervenção antrópica é de extrema importância, visto que a junção de todos os fatores presentes em determinada localidade é que faz com que a diversidade se expresse de maneira específica.

Embora muito peculiar, pouco se sabe sobre os fatores que atuam moldando o mosaico de ambientes encontrados em montanhas tropicais (CARVALHO, 2010). A carência de estudos sobre a estruturação e manutenção dessas comunidades biológicas complexas dificulta o estabelecimento de medidas e políticas específicas para estes ambientes, o que geralmente culmina na simplicidade dos planos de manejo e menor eficácia das ações.



## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-ABREU, P.A.; RINGER, F.E. Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do mesoproterozóico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, n.1, p.1-14, 2008.
- BARTO, E. K; ALT, F; OELMANN, Y.; WILCKE, W.; RILLING, M.C. Contributions of biotic and abiotic factors to soil aggregation across a land use gradient. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 12, p. 2316-2324, 2010.
- BETHLENFALVAY, G.J.; FRANSON, R.L.; BROWN, M.S.; MIHARA, K.L. The Glycine-Glomus-Bradyrhizobium symbiosis. IX Nutritional, morphological and physiological responses of nodulated soybean to geographic isolates of the mycorrhizal fungus Glomus mosseae. **Physiologia Plantarum**, v. 76, n. 2, p. 226-232, 1989.
- BENITES, V.M. **Caracterização de Solos e de Substâncias Húmicas em Áreas de Vegetação Rupestre de Altitude**. 2001. 74p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- BENITES, V.M; CAIAFA, A.N.; MENDONÇA, E.S.; SCHAEFER, C.E., KER, J.C. Solo e Vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, p. 76-85, 2003.
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, p. 569-577, 2007.
- BERBARA, R.L.L.; SOUZA, F.A.; FONSECA, H.M.A.C. **Fungos Micorrízicos Arbusculares: muito além da nutrição**. In: FERNANDES, M.S. Nutrição Mineral de Plantas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, p. 53-85, 2006.
- BIRD, S.B.; HERRICK, J.E.; WANDER, M.M.; WRIGHT, S.F. Spatial heterogeneity of aggregate stability and soil carbon in semi-arid rangeland. **Environmental Pollution**, v. 116, n. 3, p. 445-455, 2002.
- BRUNDRETT, M. Mycorrhizas in natural ecosystems. **Advances in Ecological Research**, Toronto, v. 21, p. 171-313, 1991.
- BURMAN, A. Saving Brazil's savannas. **New Scientist**, London, v. 129, p. 30-34, 1991.

CARVALHO, F. **Abundância de espécies de plantas e diversidade de simbioses radiculares em campos rupestres da Serra do Cipó, MG.** 2010. 112p. Tese (Doutorado em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. **Rodriguésia**, v. 58, p. 193-206, 2007.

DONG, Y.; ZHU, Y.G.; SMITH, F.A.; WANG, Y.S.; CHEN, B.D. Arbuscular mycorrhiza enhanced arsenic resistance of both white clover (*Trifolium repens* Linn.) and ryegrass (*Lolium perenne* L.) plants in an arsenic-contaminated soil. **Environmental Pollution**, v. 155, ed. 1, p. 174-181, 2008.

DRIVER, J.D.; HOLBEN, W.E.; RILLIG, M.C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 101-106, 2005.

ESCHWEGE, W.L.v. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. **Weimar: Landes Industrie Comptoir**, 44p, 1822. In: München, Bayerische Staatsbibliothek.

ECHTERNACHT, L.; TROVÓ, M.; OLIVEIRA, C.T.; PIRANI, J.R. Areas of endemism in the Espinhaço Range in Minas Gerais, Brazil. **Flora**, v. 206, p.782-791, 2011.

FRANCIS, R.; READ, D.J. The contribution of mycorrhizal fungi to the determination of plant community structure. **Plant Soil**, v. 159, p. 11-25, 1994.

FRANCIS, R.; READ, D.J. Mutualism and antagonism in the mycorrhizal symbiosis, with special reference to impacts on plant community structure. **Canadian Journal of Botany**, v. 73, p. 1301-1309, 1995.

GIULIETTI, A.M.; MENEZES, N.L.; PIRANI, J.R.; WANDERLEY, M.G.L. Flora da Serra do Cipó: caracterização e lista das espécies. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v.9, p.1-151, 1987.

GIULIETTI, A.M.; PIRANI, J. R. Patterns of geographic distribution of some plant species from the Espinhaço range, Minas Gerais and Bahia. In: HEYER, W. R.; VANZOLINI, P. E. (Eds) Proceedings of a Workshop of a Neotropical Distribution Patterns. **Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, p. 39-69, 1988.

GIULIETTI, A.M.; PIRANI, J.R.; HARLEY, R.M. Espinhaço range region, eastern Brazil. In: DAVIS, S.D.; HEYWOOD, V.H.; HERRERA-MACBRYDE, O.; VILLA-LOBOS, J.; HAMILTON, A.C. (eds) *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for their Conservation*. **Cambridge: IUCN Publication Unity**, p. 397-404, 1997.

GIULIETTI, A.M.; HARLEY, R.M.; QUEIROZ, L.P.; WANDERLEY, M.G.L.; PIRANI, J.R. Caracterização de endemismos nos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. In: CAVALCANTI, T.B.; WALTER, B.T.M. (eds) *Tópicos Atuais em Botânica*. **SBB/Embrapa, Brasília**, p. 311-318, 2000.

GÖHRE, V.; PASZKOWSKI, U. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. **Planta**, v. 223, p. 1115-1122, 2006.

GONZÁLEZ-CHAVÉZ, M.C.; CARRILLOGONZÁLEZ, R.; WRIGHT, S.F.; NICHOLS, K.A. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. **Environmental Pollution**, v. 130, n. 3, p. 317-323, 2004.

HARLEY, R. M. Introduction In: STANNARD, B. L. (Ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil**. Royal Botanic Gardens, Kew, p.1-42, 1995.

HUGHES, C.E.; PENNINGTON, R.T.; ANTONELLI, A. Neotropical plant evolution: assembling the big picture. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, p. 1–18, 2013.

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. **Ambio**, v. 37, p. 324-326, 2008.

JOLY, A. B. **Conheça a vegetação brasileira**. Ed. Univ. de São Paulo e Polígono, São Paulo, 181p., 1970.

KABIR, Z. Tillage or no-tillage: Impact on mycorrhizae. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 85, n.1, p. 23-29, 2005.

KEELEY, J.E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. **International Journal of Wildland Fire**, v. 18, p. 116-126, 2009.

KLIRONOMOS, J.N. Host-specificity and functional diversity among arbuscular mycorrhizal fungi. **Microbial Biosystems: New Frontiers**, p. 845-851, 2000.

KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytologist**, v. 117, p. 365-386, 1991.

KOIDE, R.T.; PEOLPLES, M.S. Behaviour of Bradford-reactive substances is consistent with predictions for glomalin. **Applied Soil Ecology**, v.63, p. 8-14, 2013.

LE STRADIC, S.; BUISSON, E.; FERNANDES, G.W. Vegetation Composition and Structure of Some Neotropical Mountain Grasslands in Brazil. **Journal of Mountain Science**, v 12, n.4, p. 864-877, 2015.

LOZANO, E.; CHRENKOVÁ, K.; ARCENEGUI, V.; JIMÉNEZ-PINILLA, P.; MATAIX-SOLERA, J.; MATAIX-BENEYTO, J. Glomalin-Related Soil Protein Response to Heating Temperature: A Laboratory Approach. **Land Degradation & Development**, 8p., 2015.

LUTGEN, E. R.; MUIR-CLAIRMONT, D.; GRAHAM, J.; RILLIG, M. C. Seasonality of arbuscular mycorrhizal hyphae and glomalin in a western Montana grassland. **Plant and Soil**, The Hague, v. 257, n. 1, p. 71-83, 2003.

MAIA, R.S.; VASCONCELOS, S.S.; CARVALHO, C.J.R. Frações de Fósforo e Simbiose Micorrízica em Floresta Secundária em Resposta a Disponibilidade de Água e Nutrientes na Amazônia Oriental. **Acta Amazônica**, v. 45, n. 3, p. 255-264, 2015.

MANDYAM, K; JUMPPONEN, A. Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. **Studies in Mycology**, v.53, p. 173-189, 2005.

MARSCHNER, H. Nutrient dynamics at the soil-root interface (Rhizosphere). In: READ, D.J. et al. (Ed.). **Mycorrhizas in ecosystems**. Cambridge: University Press, p. 3-12, 1994.

MELLO-SILVA, R. Aspectos Taxonômicos, biogeográficos, morfológicos e biológicos das Velloziaceae de Grão-Mogol, Minas Gerais, Brasil. **Boletim de Botânica**, Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 14, p.49-79, 1995.

MESSIAS, M.C.T.B.; LEITE, M.G.P.; MEIRA-NETO, J.A.A.; KOZOVITS, A.R. Fitossociologia de campos rupestres quartzíticos e ferruginosos no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. **Acta Botânica Brasilica**, v. 26, p. 230-242, 2012.

MESSIAS, M.C.T.B.; LEITE, M.G.P.; MEIRA-NETO, J.A.A.; KOZOVITS, A.R.; TAVARES, R. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. **Folia Geobotânica**, v. 48, n. 4, p. 509-521, 2013.

MENEZES, N.L.; GIULIETTI, A.M. Campo Rupestre. In: MENDONÇA, M.P.; LINS, L.V.; (eds) Lista vermelha das espécies ameaçadas de extinção de Minas Gerais. **Fundação Biodiversitas e Fundação Zoobotânica de Belo Horizonte**, p. 76-83, 2000.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras, 2.ed atual. e ampl. 729p, 2006.

MORUGÁN-CORONADO, A; ARCENEGUI, V.; GARCÍA-ORENES, F.; MATAIX-SOLERA, J.; MATAIX-BENEYTO, J. Application of soil quality indices to assess the status of agricultural soils irrigated with treated wastewaters. **Solid Earth**, v. 4, p. 119-127, 2013.

MOURÃO, A.; STEHMANN, J.R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, p. 775-786, 2007.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OWUSU-BENNOAH, E; WILD, A. Auto radiography of the depletion zone of phosphate around onion roots in the presence of vesicular arbuscular mycorrhiza. **New Phytologist**, v. 82, p. 133-140, 1979.

PENG, S.; GUO, T.; LIU, G. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in sothwest China. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411–417, 2013.

PURIN, S., RILLIG, M.C. Immuno-cytolocalization of glomalin in the mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1000–1003, 2008.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2ed., 2008.

RILLING, M.C.; MUMMEY, D.L. Mycorrhizas and soil structure. **New Phytologist**, Sheffield, v. 171, p. 41-53, 2006.

RILLIG, M.C.; RAMSEY, P.; MORRIS, S.; PAUL, E. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to soil-use change. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, n. 2, p. 293-299, 2003.

RILLIG, M.C.; WRIGHT, S.F.; EVINER, V.T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil**, The Hague, v. 238, n. 2, p. 325-333, 2002.

SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. **Geonomos**, v.3, n.1. p. 41-63, 1995.

SAGGIN JÚNIOR, O.J. **Micorrizas Arbusculares em Mudanças de Espécies Arbóreas Nativas do Sudeste Brasileiro**. 1997. 120p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

SAGGIN JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: UFLA/DCS e DCF, p. 203-254, 1996.

SCHAEFER, C.E.; CÂNDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; PEREIRA, A.; NUNES, J.A.; SOUZA, O.G.F.; MARINS, A.; FERNANDES FILHO, E.; KER, J.C. Solos Desenvolvidos Sobre Canga Ferruginosa no Brasil: Uma Revisão Crítica e Papel Ecológico de Termiteiros. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: Áreas Prioritárias para Conservação da Diversidade Geológica e Biológica, Patrimônio Cultural e Serviços Ambientais**. Belo Horizonte, 3ª Editora, 552 p., 2015.

SILVA, C.P. **Conteúdo de proteína o solo relacionada à glomanina em solos do município de Irauçuba/CE e sua relação com a degradação**. 2015. 48p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVEIRA, F.A.O.; NEGREIROS, D.; BARBOSA, N.P.U.; BUISSON, E.; CARMO, F.F.; CARSTENSEN, D.W.; CONCEIÇÃO, A.A.; CORNELISSEN, T.G.; ECHTERNACHT, L.; FERNANDES, G.W.; GARCIA, Q.S.; GUERRA, T.J.; JACOBI, C.M.; LEMOS-FILHO, J.P.; STRADIC, S.L.; MORELLATO, L.P.C.; NEVES, F.S.; OLIVEIRA, R.S.; SCHAEFER, C.E.; VIANA, P.L.; LAMBERS, H. Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant Soil**, p. 1-24. 2015.

SIQUEIRA, J.O.; SAFIR, G.R.; NAIR, M.G. Simulation of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation and growth of white clover by flavonoid compounds. **New Phytologist**, v. 118, p. 87-93, 1991.

SMITH, S.E.; READ, D.J. **Mycorrhizal symbiosis**. USA: Academic Press, 3ed, 815p., 2008.

SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.B.; LIMA, F.S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, suplemento 1, p. 3033-3044, 2012.

STEINBERG, P.D.; RILLIG, M.C. Differential decomposition of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae and glomalin. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, p. 191-194, 2003.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 396, p. 69-72, 1998.

VASCONCELOS, P.B.; ARAÚJO, G.M.; BRUNA, E. The role of road sides in conserving Cerrado plant diversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 23, p. 3035-3050, 2014.

VINCENT, R.C.; MEGURO, M.M. Influence of soil properties on the abundance of plants species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 3, p. 377-388, 2008.

WANG, B.; QIU, Y.-L. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 299-363, 2006.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology & Fertility of Soils**, Germany, v. 31, n. 3-4, p. 249-253, 2000.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. v. 161, n. 8, p. 575-586, 1996.

WU, Q.S.; CAO, M.Q.; ZOU, Y.N.; HE, X.H. Direct and indirect effects of glomalin, mycorrhizal hyphae, and roots on aggregate stability in rhizosphere of trifoliate orange. **Scientific Reports**, v.4, n. 5823, 2014.

ZANGARO, W.; BONONI, V.L.R.; TRUFEN, S.B. Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 16, n. 4, p. 603-622, 2000.

ZORNOZA, R.; ACOSTA, J.A.; BASTIDA, F.; DOMÍNGUEZ, S.G.; TOLEDO, D.M.; FAZ, A. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, v.1, p.173-185, 2015.



## **CAPÍTULO 2: COMUNIDADE DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EM CAMPOS RUPESTRES QUARTZÍTICOS E FERRUGINOSOS DA CADEIA DO ESPINHAÇO, MINAS GERAIS, BRASIL.**

### **RESUMO**

Os Campos Rupestres, pertencentes ao bioma Cerrado, são característicos pela associação de afloramentos rochosos, vegetação herbáceo-arbustiva e elevadas altitudes. A peculiaridade edáfica destes locais implica na ocorrência de diversas jazidas de minérios ao longo de seu território, intensificando a pressão antrópica sobre este ecossistema. Em contrapartida, estes ainda recebem pouca atenção quanto a estudos ambientais específicos. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo investigar e quantificar a diversidade da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) presentes no solo adjacente as raízes de *Vellozia ramosissima* (canela-de-ema) e *Eremanthus incanus* (candeia) em campos rupestres ferruginosos (CRF) e quartzíticos (CRQ) da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais. Analisou-se a densidade de esporos e riqueza das espécies de FMAs no solo; quantidade da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG) e o grau de colonização das raízes por FMAs e *Dark Septate Endophytes* (DSE). Os valores obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias classificadas pelo critério de agrupamento de Scott-Knott. Procedeu-se as análises de ordenação PCA e PCoA e de agrupamento ISA, no intuito de revelar as preferências dos FMAs pelos ambientes. A diversidade foi estimada pelos índices de Shannon ( $H'$ ), Pielou ( $J$ ) e Simpson 1-D ( $C'$ ) e a similaridade entre ambientes pelo índice de Jaccard. Foram registradas 26 espécies de FMAs, cinco destas verificadas apenas em campos rupestres ferruginosos e três exclusivamente em campos rupestres quartzíticos. Os gêneros *Acaulospora*, *Glomus* e *Scutellospora* apresentaram ocorrência distribuída em todas as áreas estudadas e maior riqueza de espécies. A riqueza variou entre os ambientes, sendo maior para aqueles cujas rochas se encontram mais intemperizadas, na rizosfera de canela-de-ema; entretanto, a densidade de esporos foi menor nessas áreas. A quantidade da PSRG foi superior em ambientes ferruginosos e a colonização das raízes por FMAs foi maior na rizosfera de candeia. Já a colonização por DSE não seguiu um padrão definido. A PCA entre atributos químicos do solo e as variáveis avaliadas demonstrou a formação de dois grupos, orientados conforme a litologia (ferruginosa ou quartzítica). A ISA revelou a preferência de 5 espécies por um dos sítios estudados, duas destas foram específicas dos CRQ e três dos CRF. Locais com menor riqueza de espécies de FMAs apresentaram menor dominância e maior uniformidade de distribuição, refletindo em maiores valores para o índice de Shannon ( $H'$ ).

No geral, os ambientes apresentaram entre si valores próximos para similaridade de Jaccard, entretanto a exclusividade de espécies a cada um dos sítios estudados não deve ser desconsiderada.

**Palavras-chave:** Mineração. Glomalina. *Dark Septate Endophytes*. *Vellozia ramosissima*. *Eremanthus incanus*.

## ABSTRACT

The Rupestrian Fields, belonging to the Cerrado, are characteristic of the combination between rocky outcrops, herbaceous and shrubby vegetation and high altitudes. The edaphic peculiarity of these sites implies the occurrence of several mineral deposits along its occurrence territory, intensifying the anthropic pressure on this ecosystem. However, they still receive little attention on particular environmental studies. Thus, the present work was to study the community of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the rhizosphere of *Vellozia ramosissima* (canela-de-ema) and *Eremanthus incanus* (candeia) in ferruginous rupestrian fields (CRF) and quartzite (CRQ) of the Espinhaço, Minas Gerais. It analyzed the density and species richness of AMF in the soil; amount of soil Glomalin related protein (PSRG) and the root colonization by AMF and *Dark Septate Endophytes* (DSE). The values obtained were submitted to analysis of variance and the means were grouped by Scott-Knott criteria. We proceeded to the PCA and PCoA ordination analysis, and ISA group in order to reveal the preferences of the AMF environments. The diversity was estimated by Shannon ( $H'$ ), Pielou ( $J$ ) and Simpson 1-D ( $C'$ ) indexes and the similarity between the environments by Jaccard index. We recorded 26 species of AMF, five of these only checked in ferruginous rupestrian fields and three exclusively on quartzite rupestrian fields. *Acaulospora*, *Glomus* and *Scutellospora* genera showed occurrence distributed in all studied and most species-rich areas. The richness varied between environments, being higher for those whose rocks are more weathered, in the rhizosphere of canela-de-ema; however, the spore density was lower in those areas. The amount of PSRG was higher in ferruginous environments and root colonization by AMF was higher in the rhizosphere of a candeia. The colonization by DSE didn't follow a set pattern. The PCA between soil chemical attributes and variables evaluated showed the formation of two groups, oriented according to lithology (ferruginous or quartzite). ISA showed the preference for the 5 species by one of the studied sites, two of these were specific to the CRQ and three specific to the CRF. Places with lower species richness of AMF showed less dominance and more uniform distribution, resulting in higher values for the Shannon index ( $H'$ ). Overall, the environments showed values close to similarity of Jaccard, but the uniqueness of species to each of the sites studied should not be disregarded.

**Keywords:** Mining. Glomalin. *Dark Septate Endophytes*. *Vellozia ramosissima*. *Eremanthus incanus*.



## 1. INTRODUÇÃO

Os campos rupestres são ambientes característicos pelo predomínio de afloramentos rochosos associados a vegetações herbáceo-arbustivas e elevadas altitudes (CONCEIÇÃO; PIRANI, 2007). No Brasil, encontram-se localizados principalmente na Cadeia do Espinhaço (VASCONCELOS, 2011), onde os campos rupestres ferruginosos e campos rupestres quartzíticos se alternam na formação da paisagem. Possuem uma flora rica, com elevado grau de endemismo (MESSIAS et al., 2013), cuja composição pode variar completamente em poucos metros de observação. A peculiaridade botânica dos campos rupestres quartzíticos e ferruginosos é sustentada devido à ocorrência de exemplares taxonômicos eficientemente adaptados às condições extremas de clima e solo (SCHAEFER et al., 2015).

Relações de simbiose com micro-organismos são alguns dos mecanismos utilizados no aumento da tolerância a estresses, favorecendo o estabelecimento vegetal nestes locais. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) são um exemplo deste tipo de associação, formando a mais ampla simbiose entre fungos e plantas na natureza, podendo ser encontrados nos mais variados biomas e ecossistemas (SMITH; READ, 1997). Considerando que o fator chave desta simbiose é, resumidamente, relatado pelo aumento da resistência vegetal a uma combinação de condições rizosféricas adversas, tais como elevada acidez, baixa fertilidade, temperatura elevada, estresse hídrico, presença de patógenos e altas concentrações de metais pesados (OWUSU-BENOAH; WILD, 1979; MARSCHNER, 1994), a presença de FMAs pode ser essencialmente ímpar para a sustentabilidade dos ecossistemas rupestres, como a Serra do Espinhaço, atuando no desenvolvimento vegetal e manutenção da diversidade biológica (CARVALHO, 2012).

Pode-se considerar as Vellozias (Velloziaceae) como um bom indicador desta fitofisionomia (HARLEY, 1995), embora ocorra também em outras formações campestres e savânicas do bioma Cerrado (EMBRAPA, 2015). Dentro desta família botânica a espécie *Vellozia ramosissima* (Canela-de-ema) é amplamente encontrada nos campos rupestres da Serra do Espinhaço, tanto quartzíticos quanto ferruginosos. A espécie *Eremanthus incanus* (Candeia), Asteraceae, também é frequentemente relatada ao longo desta fitofisionomia. Ambas podem ocorrer isoladamente ou formando populações praticamente puras. Sabe-se que distribuição das espécies é fundamentada pelos fatores edáficos, no entanto, pouco se sabe a respeito de componentes fundamentalmente moduladores da diversidade, como a comunidade de FMAs do solo.

As elevadas altitudes recorrentes aos campos rupestres, juntamente ao fato desta fitofisionomia ser constituída por diferentes tipos de rocha de importância mineral (com destaque para o ferro), reflete na presença de grandes empreendimentos minerários ao longo de sua extensão e intensa prospecção por jazidas ainda desconhecidas. Não obstante ao atual recuo de diversas atividades econômicas do país, o Índice da Produção Mineral (IPM) brasileira apresentou crescimento de 15,5% no primeiro semestre de 2015 quando comparado ao mesmo período do ano anterior (DNPM, 2015). Isso culmina na expansão dos empreendimentos minerários, em sua grande parte associados a ambientes de campos rupestres, o que sugere uma enorme fragilidade ecológica a estes ecossistemas.

A junção destes fatores faz com que este ambiente se encontre na lista dos mais ameaçados de extinção dos últimos anos (JACOBI ; CARMO, 2008). Além disso, a carência de estudos neste ecossistema dificulta tanto o planejamento de políticas de preservação e monitoramento, quanto de ações efetivas para a recuperação destas áreas. Portanto, tem-se um cenário extremamente preocupante, visto a alta sensibilidade deste sistema, que pode implicar na extinção de espécies vegetais e de micro-organismos antes mesmo que sejam descritas.

Neste sentido este trabalho teve como objetivo investigar e quantificar a diversidade da comunidade de fungos micorrízicos presentes no solo adjacente às raízes de *Vellozia ramosissima* (Canela-de-ema) e *Eremanthus incanus* (Candeia) em campos rupestres ferruginosos e quartzíticos da Serra do Espinhaço, em Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Localização e caracterização da área de estudos

A amostragem da comunidade de FMAs do solo foi realizada em duas áreas de campo rupestre quartzítico e duas de campo rupestre ferruginoso, localizadas no município de Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil. As áreas estão situadas na região leste da Serra do Espinhaço Meridional. O clima regional é classificado como subtropical úmido, Cwa, segundo Köppen. A temperatura média anual é de aproximadamente 20°C e a precipitação média anual de 1682 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2016). O solo das áreas estudadas foi classificado como Neossolo Litólico Distrófico Fragmentário (EMBRAPA, 2016). O resumo de suas características químicas está apresentado na Tabela 1 (dados na íntegra – Apêndice A).

**Tabela 1 - Altitude e características químicas dos solos dos campos rupestres quartzíticos (CRQ) e ferruginosos (CRF) selecionados para estudo da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil**

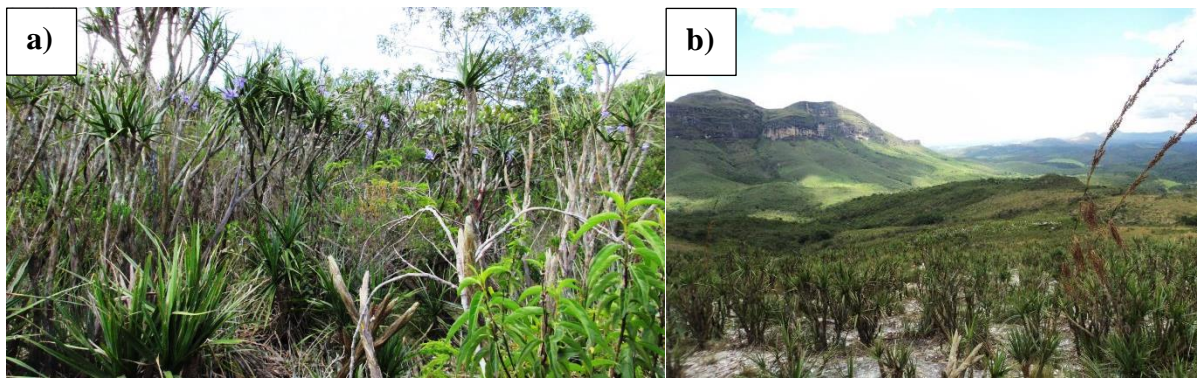
Local	Altitude (m)	pH	P	K	Fe	Cu	Mn	Zn	Ca	Mg	Al	T	M	V	MO
			----- mg dm <sup>-3</sup> -----						---- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----				-- % --		dag kg <sup>-1</sup>
<b>CRQ 1</b>	746	4,1	7,9	26,3	20	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4	16,8	57,8	1,8	3,5
<b>CRQ 2</b>	1017	4,6	4,7	22,1	14,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	6,1	36,3	6,4	2,3
<b>CRF 1</b>	949	4,8	4,6	38,7	292,6	0,6	0,9	0,7	0,6	0,3	0,3	23,2	24,2	4,4	5,3
<b>CRF 2</b>	900	4,7	5,7	65	433,6	0,3	0,7	0,5	0,7	0,3	0,2	16	15,7	7	5,1

pH: Relação solo-água 1:2,5; P, K, Fe, Cu, Mn e Zn: Extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: Extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>; T: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m: Saturação de alumínio; V: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica determinada através da multiplicação do resultado do carbono orgânico pelo método Walkey-Black por 1,724. Fonte: O autor.

O sítio de coleta Campo Rupestre Quartzítico 1 (CRQ1) está inserido em uma propriedade da mineradora Anglo American, em uma área destinada a compensação florestal. Já Campo Rupestre Quartzítico 2 (CRQ2) situa-se em uma propriedade particular, no entanto com fins de preservação. A diferença entre ambos é definida, sobretudo, pelo grau de intemperismo das rochas e pela florística.

Desta forma, o CRQ1 (Figura 1a) é marcado pela presença de rochas mais intemperizadas, maior espessura de solo e flora mais diversa em relação ao CRQ2, com ocorrência de 16 espécies arbustivo-arbóreas, das quais canela-de-ema e candeia representam 72,8% e 1,38% do total de indivíduos (VIEIRA, 2015). Já o CRQ2 (Figura 1b) é caracterizado pela ocorrência de apenas três espécies arbustivo-arbóreas, sendo que a canela-de-ema representa 98,9% e a candeia 0,7% da densidade relativa deste sítio (VIEIRA, 2015).

**Figura 1 - Sítios de estudo em Campos Rupestres Quartzíticos a) CRQ1 e b) CRQ2 da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG.**

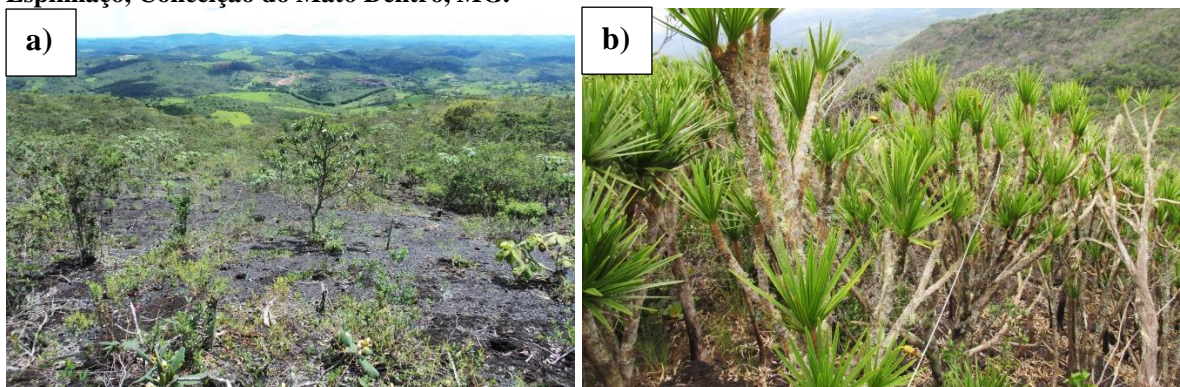


Fonte: O autor.

O sítio Campo Rupestre Ferruginoso 2 (CRF2) localiza-se em uma área de proteção ambiental (APA), enquanto o sítio Campo Rupestre Ferruginoso 1 (CRF1) localiza-se em uma propriedade pertencente a empresa de mineração Anglo American, em área provida de jazida de minério de ferro. Assim, provavelmente o CRF1 será explorado, em decorrência da extensão da área da cava em operação naquela localidade, ao longo da vida útil do empreendimento minerário.

A paisagem do CRF1 é marcada por afloramentos rochosos mais intemperizados, com maior acúmulo de solo nas áreas baixas em relação ao CRF2. A florística no CRF1 se expressa com maior riqueza (12 espécies arbustivo-abóreas), de maneira que canela-de-ema e candeia perfazem, respectivamente, 22,2% e 11,4% do total de indivíduos (VIEIRA, 2015) (Figura 2a). No entanto, no CRF2 (6 espécies arbustivo-abóreas) a dominância mostra-se mais acentuada, onde canela-de-ema representa 93,7% da densidade relativa e candeia 5,41% (Figura 2b).

**Figura 2 - Sítios de estudo em Campos Rupestres Ferruginosos a) CRF1 e b) CRF2 da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG.**



Fonte: O autor.

## 2.2. Amostragem

Dados de inventário florístico prévio revelaram a ocorrência simultânea das espécies *Vellozia ramosissima* (canela-de-ema) e *Eremanthus incanus* (candeia) em todas as



quatro áreas estudadas (VIEIRA, 2015), além da elevada representatividade de ambas no número total de indivíduos arbustivo-arbóreos registrados, tornando-as alvo deste trabalho.

Entre julho e setembro de 2015 foram selecionados e georreferenciados, aleatoriamente, 05 indivíduos de candeia e 05 de canela-de-ema para o sítio CRQ1 e 8 exemplares de cada uma das espécies para os demais sítios (CRQ2, CRF1 e CRF2), totalizando 58 plantas amostradas. Foram coletadas amostras de raízes finas e do solo adjacente às mesmas, denominado neste estudo como solo rizosférico. As amostras de solo foram dispostas em sacolas plásticas e mantidas sob refrigeração até a extração dos esporos de FMAs e da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG). Já as raízes foram lavadas em água corrente e mantidas em álcool 50% até a estimativa da colonização micorrízica.

### **2.3. Extração dos esporos do solo e identificação das espécies de FMAs**

Os esporos foram extraídos do solo utilizando os métodos de decantação e peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) seguidos de centrifugação e flutuação em sacarose 45% (JENKINS, 1964). A contagem dos mesmos foi realizada em placa de acrílico, com anéis concêntricos, sob microscópio estereoscópico (40x). Em sequência os esporos foram separados em dois grupos homogêneos. Procedeu-se a fixação do primeiro grupo em Poli Vinil Lacto Glicerol (PVLG) e do segundo grupo em mistura de PVLG mais reagente de Melzer (1:1) para condução da identificação das espécies em microscópio óptico (200x).

A identificação das espécies foi realizada com base nas descrições contidas no banco de dados da *International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi* - INVAM e descrições originais das espécies.

### **2.4. Extração e quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG)**

A extração da proteína do solo relacionada à glomalina foi realizada em autoclave, no entanto, de maneira distinta para a glomalina facilmente extraível (GFE) e glomalina total (GT). Para a GFE obteve-se uma mistura homogênea de 1 g de solo e 8 mL de solução de citrato de sódio (20 mmol L<sup>-1</sup>; pH 7,0), a qual foi autoclavada (121°C) por 30 minutos. Já para a GT acrescentou-se ao solo 8 mL de citrato de sódio (50 mmol L<sup>-1</sup>; pH 8,0) e a mistura foi autoclavada durante 60 minutos, sendo este procedimento repetido até obtenção de aparência amarela-clara do sobrenadante, que nos solos estudados variou de 3 a 14 ciclos. Após respectiva autoclavagem ambas as frações foram centrifugadas a 4.000 rpm por 20 minutos e o sobrenadante coletado para proceder a quantificação. A quantificação da PSRG foi efetuada pelo método Bradford (1976), modificada por Wright et al. (1996), disponível em <<http://www.usda.gov>>, utilizando albumina de soro bovino (BSA) como curva padrão. A

leitura foi realizada em espectrofotômetro (595 nm) e as concentrações da glomalina corrigidas para  $\text{mg g}^{-1}$  de solo.

### 2.5. Quantificação do grau de colonização das raízes por FMAs

As raízes finas foram lavadas em água corrente e conservadas em álcool 50%. A clarificação e a coloração das raízes foram realizadas segundo Koske e Gemma (1989) e Grace e Stribley (1991), respectivamente. Em seguida foram montadas laminas contendo segmentos de raízes em glicerol 50%. Avaliou-se a colonização das raízes por FMAs e *Dark Septate Endophytes* (DSE), de maneira conjunta, por meio da estimativa da porcentagem de presença de colonização radicular em microscópio óptico, em um campo visual gerado pela objetiva de 40x.

### 2.6. Análises dos dados

A análise dos dados foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado, esquema em parcelas subdivididas 2x4, composto por duas espécies (candeia e canela-de-ema) e quatro áreas amostrais (sítios de coleta), com oito repetições. Os valores obtidos foram testados quanto à normalidade e homogeneidade, com posterior transformação quando necessário, e então submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de significância.

Obteve-se a frequência relativa de ocorrência das espécies de FMAs, seguindo a fórmula  $F_i = (J_i / k) \times 100$ , onde  $J_i$  é o número de amostras em que a espécie ocorreu e  $k$  é o total de amostras. Foi calculada a abundância relativa (AR) de cada espécie, para cada área, somando-se o número de indivíduos de determinada espécie presente em todas as repetições e dividindo este valor pelo total de indivíduos amostrados neste sítio, multiplicado por 100.

Foram calculados os índices de Shannon ( $H'$ ), Simpson 1-D ( $S'$ ) e Equitabilidade de Pielou ( $J'$ ). Os valores de  $H'$  obtidos para cada sítio foram comparados pelo teste de  $t$  de Hutcheson, com ajuste da significância pela técnica de ranqueamento de Bonferroni (ZAR, 2010). Todos os índices foram gerados pelo software PAST (HAMMER et al., 2001).

A diversidade entre sítios foi demonstrada, para cada espécie de planta, por meio de uma matriz de similaridade, obtida pelo índice de Jaccard, onde  $S_{ij} = (c / a + b - c)$ , em que **a** representa o número de espécies presentes no sítio 1, **b** o número de espécies presentes no sítio 2 e **c** representa o número de espécies comuns aos dois sítios.

Para detectar ordenação dos fungos nos diferentes habitats de campo rupestre realizou-se, no PC-ORD for Windows versão 6.0 (MCCUNE; MEFFORD, 2011), uma análise de coordenadas principais (PCoA) para o número de indivíduos registrados de cada espécie de FMA. Uma PCA (Análise dos Componentes Principais) foi gerada contemplando

valores densidade geral de esporos, riqueza (nº de espécies de FMAs), GT, GFE, colonização por FMA, colonização por DSE, diferentes áreas de coleta e propriedades químicas do solo relacionadas, verificando a correlação entre os atributos químicos do solo e as variáveis analisadas.

Para determinar as preferências das espécies de FMAs pelos ambientes de campo rupestre quartzítico e campo rupestre ferruginoso, foi realizada a Análise de Espécies Indicadoras (ISA) (DUFRÊNE; LEGENDRE, 1997), para cada espécie vegetal. Os dados foram processados no programa PC-ORD for Windows versão 6.0 (MCCUNE; MEFFORD, 2011).



### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Densidade de Esporos e Espécies de FMAs

Considerando todos os sítios, foram amostradas 26 espécies de FMAs distribuídas em 11 gêneros (Tabela 2). Cinco destas foram verificadas apenas em campos rupestres ferruginosos e 3 apenas em campos rupestres quartzíticos. Os gêneros que apresentaram maior ocorrência de espécies nas áreas estudadas foram *Acaulospora* (10 espécies), *Glomus* (4) e *Scutellospora* (4), no entanto a maior abundância de indivíduos foi constituída pelas espécies pertencentes ao gênero *Glomus*. Já a menor ocorrência, com apenas uma espécie registrada, foi conferida aos gêneros *Ambispora*, *Claroideoglossum*, *Dentiscutata*, *Diversispora*, *Gigaspora*, *Racocetra*, *Rhizophagus* e *Sclerocystis*.

A candeia exibiu 24 espécies em sua rizosfera, 4 específicas de campos rupestres quartzíticos e 6 de campos rupestres ferruginosos. Para canela-de-ema verificou-se 20 espécies de FMAs, 5 exclusivas de campos rupestres quartzíticos e 2 de campos rupestres ferruginosos. Contudo, apenas 27% das espécies (7 espécies) foram compartilhadas entre candeia e canela-de-ema em todos os quatro sítios estudados. A riqueza geral média verificada foi de 15 espécies de FMAs para candeia e 14 espécies para canela-de-ema (Tabela 2).

**Tabela 2 - Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares na rizosfera de candeia e canela-de-ema para ambientes de campo rupestre ferruginoso (CRF) e campo rupestre quartzítico (CRQ), na Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil**

Abrev.	Gênero / Espécie	Candeia				Canela-de-ema			
		CRF1	CRF2	CRQ1	CRQ2	CRF1	CRF2	CRQ1	CRQ2
	<b><i>Acaulospora</i></b>								
Acav	<i>A. cavernata</i>	x				x			
Acol	<i>A. colombiana</i>			x					
Afov	<i>A. foveata</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
Alae	<i>A. laevis</i>	x		x	x	x		x	x
Amel	<i>A. mellea</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
Areh	<i>A. rehmannii</i>		x					x	x
Ascr	<i>A. scrobiculata</i>			x					
Aspi	<i>A. spinosa</i>	x						x	x
Atub	<i>A. tuberculata</i>	x	x	x		x		x	
Asp	<i>Acaulospora</i> sp.		x						
	<b><i>Ambispora</i></b>								
Amlep	<i>Ambispora leptoticha</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
	<b><i>Claroideoglossum</i></b>								
Cetu	<i>C. etunicatum</i>			x					
	<b><i>Dentiscutata</i></b>								
Dret	<i>Dentiscutata reticulata</i>							x	

Continua

**Tabela 2** – (Continuação)

Abrev.	Gênero / Espécie	Candeia				Canela-de-ema			
		CRF1	CRF2	CFQ1	CRQ2	CRF1	CRF2	CRQ1	CRQ2
	<b><i>Diversispora</i></b>								
<i>Dtor</i>	<i>D. tortuosa</i>	x		x					
	<b><i>Gigaspora</i></b>								
<i>Gisp</i>	<i>Gigaspora</i> sp.		x	x	x			x	
	<b><i>Glomus</i></b>								
<i>Gglo</i>	<i>G. glomerulatum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gmac</i>	<i>G. macrocarpum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gmic</i>	<i>G. microagregatum</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Glosp</i>	<i>Glomus</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x
	<b><i>Racocetra</i></b>								
<i>Rper</i>	<i>Racocetra persica</i>	x	x	x	x	x		x	x
	<b><i>Rhizophagus</i></b>								
<i>Rifas</i>	<i>R. fasciculatus</i>	x		x	x	x	x	x	x
	<b><i>Sclerocystis</i></b>								
<i>SCLsp</i>	<i>Sclerocystis</i> sp.							x	
	<b><i>Scutellospora</i></b>								
<i>Scal</i>	<i>S. calospora</i>			x					
<i>Scer</i>	<i>S. cerradensis</i>	x	x			x		x	x
<i>Spro</i>	<i>S. projecturata</i>	x							
<i>Ssp</i>	<i>Scutellospora</i> sp.	x	x	x	x	x	x		x
	<b>RIQUEZA</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>18</b>	<b>12</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>17</b>	<b>14</b>

Fonte: O autor.

A rizosfera da canela-de-ema foi marcada pela ocorrência generalizada das espécies *Acaulospora mellea*, *Glomus macrocarpum* e *G. microagregatum*, ou seja, tais espécies foram registradas em todas as repetições para todos os sítios estudados, perfazendo 100% de frequência de ocorrência. No entanto, *Glomus* sp. (96,6%), *Glomus glomerulatum* (93,1%), *Rhizophagus fasciculatus* (72,4%), *Ambispora leptoticha* (62,1%) e *Scutellospora* sp. (48,3%) também apresentaram elevada frequência de ocorrência para essa espécie de planta (Tabela 3).

Distribuição semelhante foi verificada na rizosfera de candeia, com ocorrência de *Acaulospora mellea*, *Glomus macrocarpum* e *G. microagregatum* em 100% das amostras tomadas (Tabela 3), seguidas de *Glomus glomerulatum* (93,1%) *Glomus* sp. (82,8%), *Ambispora leptoticha* (69%), *Scutellospora* sp. (58,6%) e *Rhizophagus fasciculatus* (51,7%).

**Tabela 3 - Frequência de ocorrência (FO) e abundancia relativa (AR) de FMAs em áreas de campo rupestre quartzítico e ferruginoso da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, durante a época seca de 2015**

Espécie <sup>1</sup>	Candeia								Canela-de-ema							
	CRF1		CRF2		CRQ1		CRQ2		CRF1		CRF2		CRQ1		CRQ2	
	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR	FO	AR
	(%)								(%)							
<i>Acav</i>	13	< 0,1	-	-	-	-	-	-	50	0,1	-	-	-	-	-	-
<i>Acol</i>	-	-	-	-	20	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Afov</i>	25	< 0,1	25	< 0,1	80	0,5	38	0,1	13	< 0,1	13	< 0,1	60	0,2	25	< 0,1
<i>Alae</i>	25	< 0,1	-	-	20	0,5	13	0,3	38	0,2	-	-	40	0,2	25	0,1
<i>Amel</i>	100	28,9	100	25,6	100	15,7	100	6,9	100	9,6	100	5,8	100	22,0	100	9,4
<i>Areh</i>	-	-	13	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	40	0,2	13	< 0,1
<i>Ascr</i>	-	-	-	-	20	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aspi</i>	13	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	< 0,1	13	< 0,1
<i>Atub</i>	25	< 0,1	13	< 0,1	20	< 0,1	-	-	25	< 0,1	-	-	20	< 0,1	-	-
<i>Asp</i>	-	-	75	3,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amlep</i>	75	0,85	38	< 0,1	100	1,0	75	0,4	63	0,2	50	< 0,1	80	0,8	63	0,2
<i>Cetu</i>	-	-	-	-	20	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Dret</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	0,4	-	-
<i>Dtor</i>	13	< 0,1	-	-	20	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Gisp</i>	-	-	88	1,4	80	0,5	13	< 0,1	-	-	-	-	40	0,2	-	-
<i>Gglo</i>	88	3,9	88	1,6	100	3,1	100	1,7	100	2,0	100	0,5	100	2,9	75	1,4
<i>Gmac</i>	100	56,6	100	57,3	100	70,9	100	51,8	100	67,2	100	40,8	100	63,9	100	40,9
<i>Gmic</i>	100	6,4	100	2,1	100	3,4	100	4,2	100	5,6	100	2,7	100	3,8	100	5,2
<i>Glosp</i>	63	0,2	100	7,2	60	0,5	100	33,5	100	11,1	100	48,6	80	1,8	100	41,6
<i>Rper</i>	38	0,2	25	0,2	100	0,9	38	< 0,1	38	0,2	-	-	100	1,9	50	0,2
<i>Rifas</i>	75	1,4	-	-	60	0,9	75	0,6	100	2,3	25	0,2	100	1,6	75	0,9
<i>Scal</i>	-	-	-	-	20	< 0,1	-	-	13	< 0,1	-	-	-	-	-	-
<i>Scer</i>	25	0,3	50	0,3	-	-	-	-	13	< 0,1	-	-	20	< 0,1	25	< 0,1
<i>Ssp</i>	50	0,7	63	0,8	80	1,1	50	0,4	75	1,38	88	1,4	-	-	13	< 0,1
<i>Spro</i>	13	< 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>SCLsp</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	< 0,1	-	-

<sup>1</sup>. Abreviações conforme Tabela 2. Fonte: O autor.

Verificou-se que 88,5% das espécies perfizeram apenas 9,2% do total de indivíduos e que 11,5% das espécies perfizeram cerca de 90,8% deste total, significando uma grande dominância e desigualdade na distribuição das espécies de FMAs.

Um resumo da Análise de Variância para as variáveis avaliadas nos campos rupestres é apresentado na Tabela 4. O número de espécies de FMAs registrados nas amostras apresentou interação entre a espécie vegetal e o sítio de coleta (Tabela 4). Desta forma, verificou-se que para a canela-de-ema o sítio com maior número de espécies foi CRQ1, com

média de 11 espécies, seguido do CRF1 (9), CRQ2 (7) e CRF2 (6), onde apenas os dois últimos não diferiram entre si (Figura 1). Para candeia a maior abundância de espécies também foi verificada no CRQ1 (9), porém os demais sítios não se diferiram quanto a esta variável.

**Tabela 4 - Resumo de significância obtido pela Análise de variância para as variáveis avaliadas em campos rupestres da Serra do Espinhaço, no município de Conceição do Mato Dentro (MG), em função das espécies estudadas e locais de amostragem**

Fonte de Variação	Densidade de Esporos (50mL <sup>-1</sup> de solo)	S (n° sp.)	GT (mg g <sup>-1</sup> )	GFE (mg g <sup>-1</sup> )	FMA (%)	DSE (%)
<b>Espécie</b>	*	n/s	*	n/s	*	n/s
<b>Local</b>	*	*	*	*	n/s	*
<b>Espécie x Local</b>	n/s	*	n/s	n/s	n/s	*

Em que: S = número de espécies presentes nas amostras; GT= Glomalina Total; GFE= Glomalina Facilmente extraível; FMA= colonização por fungos micorrízicos arbusculares; DSE = colonização por *Dark Sepstate Endophytes*; n/s=não significativo e \*=significativo pelo teste F, a 5% de significância. Fonte: O autor.

No entanto, ao comparar as espécies de plantas estudadas em cada um dos locais de coleta, verificou-se diferença entre ambas (candeia e canela-de-ema) apenas nos sítios CRQ1 e CRF1, onde a rizosfera de canela-de-ema apresentou maior número de espécies de FMAs. Já nos ambientes CRQ2 e CRF2 a quantidade de espécies de FMAs não apresentou diferenças entre as espécies vegetais estudadas (Tabela 5).

**Tabela 5 - Número de espécies de FMAs na rizosfera de canela-de-ema e candeia, em campos rupestres da Serra do Espinhaço, MG**

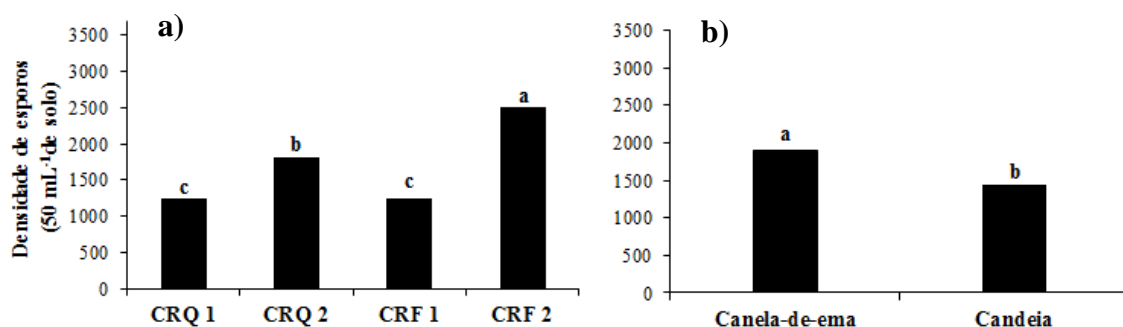
	Riqueza de espécies de FMAs		
	Canela-de-ema	Candeia	Média
<b>CRQ1</b>	17 aA	18 aB	17,5
<b>CRQ2</b>	14 cA	12 bA	13
<b>CRF1</b>	15 bA	17 bB	16
<b>CRF2</b>	9 cA	14 bA	11,5
<b>Média</b>	13,75	15,25	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância. Fonte: O autor.

Em relação à densidade de esporos observou-se efeito da espécie vegetal e das áreas estudadas (Tabela 4). Maiores médias foram verificadas na rizosfera da canela-de-ema (1905 esporos em 50 mL<sup>-1</sup> de solo) em relação a candeia (1437 esporos em 50 mL<sup>-1</sup> de solo). Contudo, a densidade de esporos não expressou distinção entre ambientes de campo rupestre ferruginoso e campo rupestre quartzítico, visto que o CRF2 apresentou maior densidade de esporos, seguido do CRQ2, CRF1 e CRQ1, respectivamente, de maneira que apenas os dois últimos não diferiram entre si (Figura 3).



**Figura 3 - Densidade de esporos verificada em a) campos rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço (MG) b) para as espécies canela e canela-de-ema. Letras minúsculas comparam médias pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância.**



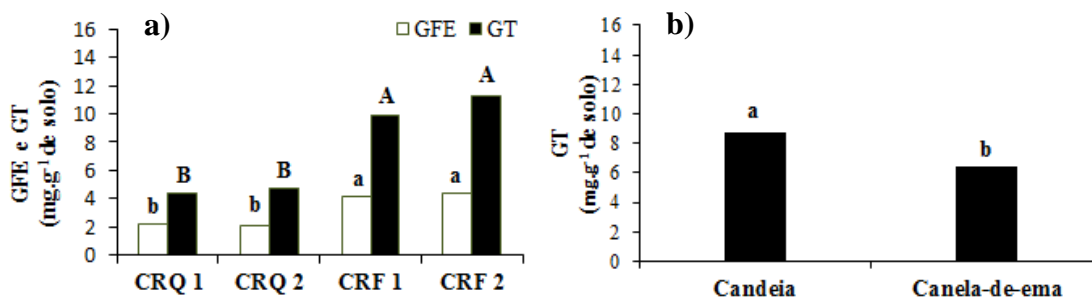
Fonte: O autor.

### 3.2. Glomalina

A glomalina total (GT) e glomalina facilmente extraível (GFE) foram as únicas variáveis que demonstraram claramente a segregação entre ambientes de campo rupestre quartzítico e ferruginoso. Tanto para GT, quanto para GFE, os locais CRF1 e CRF2 apresentaram médias consistentemente superiores aos ambientes de campo rupestre quartzítico (CRQ2 e CRQ1).

Foram verificados valores variando entre 2,1 e 4,4 mg.g<sup>-1</sup> solo para GFE e 4,4 e 11,2 mg.g<sup>-1</sup> solo para GT (Figura 4a). Contudo, para a fração total da proteína do solo relacionada à glomalina (GT), a candeia apresentou maior acúmulo desta em sua rizosfera quando comparada à canela-de-ema (Figura 4b).

**Figura 4 - Quantidade de proteína do solo relacionada à glomalina, a) para as frações facilmente extraível (GFE) e total (GT) calculadas por sítio e b) para a fração total calculada por espécie. Letras minúsculas comparam médias de GFE entre si e letras maiúsculas comparam médias de GT no gráfico a, pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância.**



Fonte: O autor.

### 3.3. Colonização das Raízes

A colonização das raízes por FMAs diferiu apenas quanto às espécies estudadas (Tabela 4), sendo maior para a candeia (Figura 4a). Já em relação à colonização das raízes por *Dark Septate Endophytes* (DSE), evidenciou-se que para a canela-de-ema o sítio CRQ1 apresenta maior porcentagem de raízes colonizadas por este grupo de fungos, seguido do

CRQ2 e CRF2, que não diferiram entre si, e CRF1, respectivamente. No entanto, para a candeia não foi verificada distinção entre os locais estudados.

Todavia, ao comparar as espécies vegetais em cada sítio estudado, verifica-se que nos sítios CRF1 e CRF2 a maior colonização por DSE ocorre em indivíduos de candeia; já no CRQ1 a colonização por DSE foi maior nas raízes de canela-de-ema, enquanto que no CRQ2 não houve diferença entre as espécies de plantas estudadas (Tabela 6).

**Tabela 6 - Colonização das raízes de canela-de-ema e candeia por Fungos Micorrízicos Arbusculares e *Dark Septate Endophytes*, em campos rupestres quartzíticos e ferruginosos da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, MG, durante estação seca**

	Canela-de-ema	Candeia	Média
<b>Colonização por Fungos Micorrízicos Arbusculares</b>			
<b>CRQ1</b>	16,1	30,5	23,3
<b>CRQ2</b>	31,1	36,6	33,9
<b>CRF1</b>	12,6	29,4	21
<b>CRF2</b>	13,6	43,9	28,8
<b>Média</b>	18,4B	35,1A	
<b>Colonização por <i>Dark Septate Endophytes</i></b>			
<b>CRQ1</b>	83,9 aA	43,9 aB	63,9
<b>CRQ2</b>	27,6 bA	38,8 aA	33,2
<b>CRF1</b>	1,5 cB	23,5 aA	12,5
<b>CRF2</b>	23,5 bB	50,3 aA	36,9
<b>Média</b>	34,1	39,1	

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúsculas na coluna, não diferem pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, 5% de significância.

Fonte: O autor.

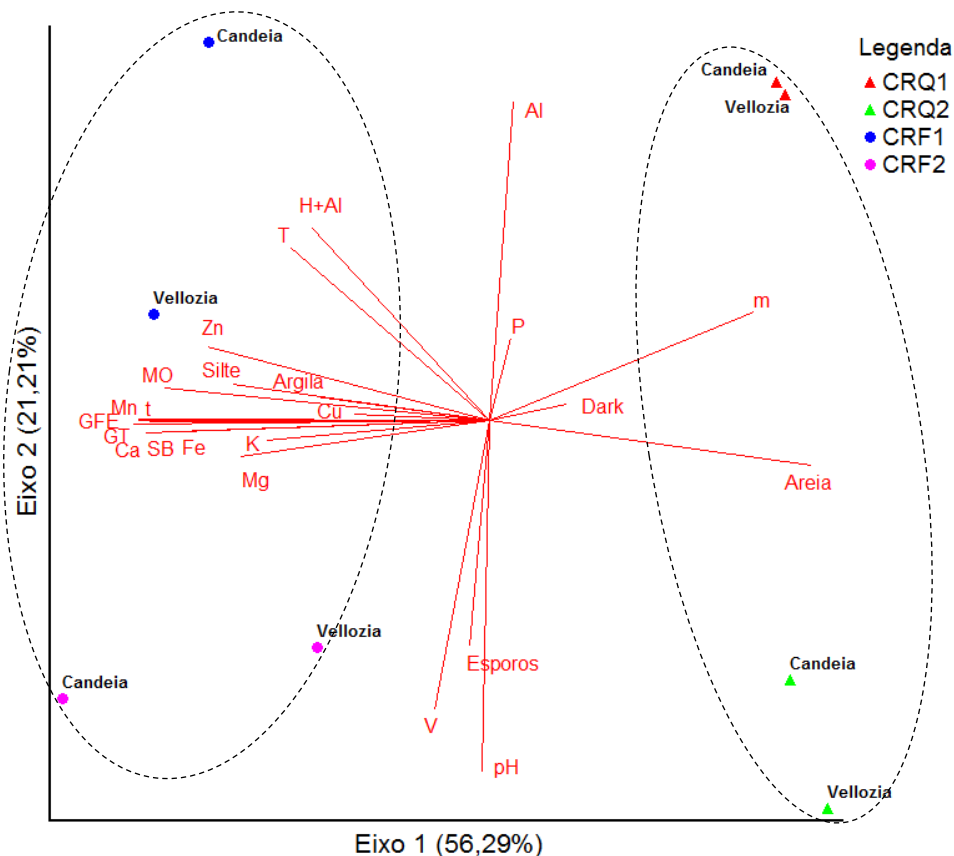
### 3.4. Análises ecológicas

A PCA entre atributos químicos do solo e as variáveis avaliadas conseguiu explicar 77,51% da variação dos dados, distribuída entre o eixo 1( 56,29%,  $p < 0,05$ ) e eixo 2 (21,21%,  $p > 0,05$ ). A ordenação se estabeleceu principalmente pelas litologias, quartzítica ou ferruginosa, sem diferenciação quanto à espécie vegetal, convergindo na formação de dois grupos de ambientes distintos (Figura 5). As parcelas de campo rupestre ferruginoso se orientaram à esquerda do eixo de ordenadas, formando um grupo, enquanto as parcelas do campo rupestre quartzítico se dispuseram à direita do mesmo.

Ambientes de CRF se mantiveram mais relacionados às variáveis GT e GFE. Estas, por sua vez, possivelmente são mais explicadas pelos maiores valores de Argila, Silte, Fe, Mn, Ca, Mg, Zn, K, SB, t e MO do solo (Anexo 1). Todavia, apresentam baixa relação quanto ao metal Cu. Já os ambientes quartzíticos se relacionaram mais à saturação por alumínio e areia, o que comprova a separação dos ambientes quanto ao grau de intemperismo

e formação do solo. As variáveis de colonização por FMA e DSE foram pouco explicadas pelos atributos químicos do solo.

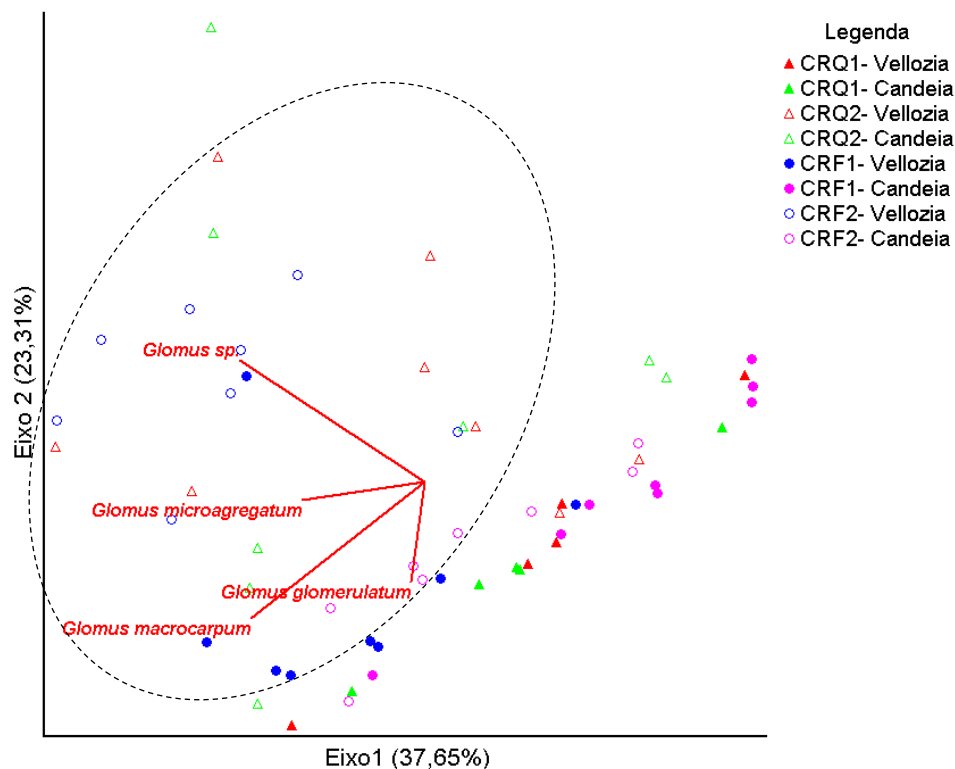
**Figura 5 - Diagrama de ordenação (PCA) das variáveis analisadas e atributos do solo relacionados à rizosfera de canela-de-ema e candeia em dois sítios de campo rupestre quartzítico (CRQ1 e CRQ2) e campo rupestre ferruginoso (CRF1 e CRF2) da Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais.**



Fonte: O autor.

Já a PCoA, proveniente dos dados de contagem de todas as espécies de FMAs, evidenciou o elevado grau de complexidade deste grupo de organismos nos campos rupestres. Os eixos 1 (37,65%;  $p < 0,05$ ) e 2 (23,31%;  $p > 0,05$ ) não demonstraram padrão de distribuição das espécies e suas respectivas abundâncias, embora expliquem 60,9% da variação. Grande peso foi atribuído a algumas das espécies mais frequentes e abundantes (*Glomus macrocarpum*, *Glomus microagregatum*, *Glomus sp.* e *Glomus glomerulatum*) (FIGURA 6), sendo que foi verificada uma leve tendência dos ambientes mais incipientes quanto ao processo de formação do solo (CRF2 e CRQ2) apresentarem maior proporção de ocorrência de tais espécies dominantes.

Figura 6 - Diagrama de ordenação PCoA - Sorensen (Bray-Curtis) obtido pela contagem de espécies de FMAs na rizosfera de canela-de-ema e candeia em dois sítios de campo rupestre quartzítico (CRQ1 e CRQ2) e dois de campo rupestre ferruginoso (CRF1 e CRF2) na Serra do Espinhaço, Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais.



Fonte: O autor.

Das 26 espécies analisadas pelo método das espécies indicadoras (TABELA 2), cinco apresentaram preferência significativa por um dos ambientes. Destas 5 espécies, duas foram preferenciais dos CRQ e três dos CRF. A ocorrência de espécies indicadoras foi registrada em todas as áreas estudadas, com exceção apenas do CRQ2 (Tabela 7). Apenas resultados significativos foram exibidos.

Tabela 7 - Espécies de FMAs com resultados significativos para análise de espécie indicadoras (ISA) na rizosfera de candeia e canela-de-ema, para campos rupestres ferruginosos (CRF1e CFR2) e quartzíticos (CRQ1 e CRQ2). Em que: VIO = valor indicador observado; VIE = valor indicador esperado; s = desvio padrão; p = significância para o teste de Monte Carlo

Ambiente	Espécie Vegetal	Espécie de FMA	VIO	VIE		
				Média	s	p
CRQ1	Candeia					
		<i>R. persica</i>	0,414	0,206	0,074	0,0270
CRQ1	Canela-de-ema					
		<i>D. reticulata</i>	0,753	0,242	0,107	0,0008
CRF1	Canela-de-ema					
		<i>A. cavernata</i>	0,585	0,236	0,095	0,0104

Continua

Tabela 7 – (Continuação)

Ambiente	Espécie Vegetal	Espécie de FMA	VIO	VIE		
				Média	s	p
CRF2	Candeia					
		<i>Acaulospora</i> sp.	0,851	0,234	0,093	0,0002
		<i>Gigaspora</i> sp.	0,576	0,214	0,087	0,0010

Fonte: O autor.

No que se refere aos índices de diversidade, notou-se uma tendência de inversão dos valores esperados para os índices de Shannon (H'), Simpson (S') e Pielou (J'). Assim, a maior parte dos sítios detentores de menor riqueza de espécies de FMAs, foram aqueles que assumiram maiores valores de diversidade (H') e uniformidade (J'). Em contrapartida, sítios com maior quantidade de espécies de FMAs, e com presença de espécies raras, apresentaram menor diversidade (H') e elevada dominância (S'), como demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Riqueza de espécies (S) e Índices de Shannon (H'), Simpson 1-D (S') e Pielou (J') para as espécies de fungos micorrízicos arbusculares amostradas

Espécie/Local	S	H'	S'	J'
<b>Candeia</b>				
CRF 1	17	1,199	0,5907	0,4232
CRF 2	14	1,260	0,5993	0,4774
CRQ 1	18	1,139	0,4796	0,3944
CRQ 2	12	1,198	0,6126	0,4821
<b>Canela-de-ema</b>				
CRF 1	14	1,171	0,5220	0,4324
CRF 2	9	1,084	0,5938	0,4933
CRQ 1	17	1,156	0,5336	0,4080
CRQ 2	14	1,255	0,6481	0,4755

J': quanto mais próximo de 1, maior uniformidade. S': quanto maior, menor a dominância. H': quão maior o valor observado, maior diversidade. Fonte: O autor.

Ao realizar o teste t de Hutcheson, que compara a diversidade de Shannon (H') entre um par de amostras, o resultado obtido reforçou a constatação de que o grau de complexidade destes ambientes rupestres é mais elevado do que se imagina. A semelhança de diversidade (H') entre amostras exibida pela matriz gerada (Tabela 9), que é demonstrada pelos valores não significativos para o teste, pode ser argumentada quando se trata de ambientes menos intemperizados, com menor quantidade de solo formado, ou quando se trata da mesma espécie vegetal analisada para a comunidade de FMAs, mesmo que em litologias diferentes. No entanto, isso não segue um padrão, e as diferenças de diversidade verificadas entre as áreas estudadas, e até mesmo dentro de uma mesma área, evidenciam a grande heterogeneidade típica do solo.

**Tabela 9 - Matriz de significância, obtida pelo teste t de Hutcheson, para o índice de diversidade de Shannon (H') da comunidade de FMAs da rizosfera de candeia (C) e canela-de-ema (V), em áreas de campo rupestre ferruginoso (CRF) e campo rupestre quartzítico (CRQ) da Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais**

	CRF1-C	CRF2-C	CRQ1-C	CRQ2-C	CRF1-V	CRF2-V	CRQ1-V	CRQ2-V
<b>CRF1-C</b>	-							
<b>CRF2-C</b>	*	-						
<b>CRQ1-C</b>	*	*	-					
<b>CRQ2-C</b>	ns	*	*	-				
<b>CRF1-V</b>	ns	*	ns	*	-			
<b>CRF2-V</b>	*	*	*	*	*	-		
<b>CRQ1-V</b>	*	*	ns	*	ns	*	-	
<b>CRQ2-V</b>	*	ns	*	*	*	*	*	-

ns: não significativo; \*: significativo pelo teste t de Hutcheson. Fonte: O autor.

A comunidade de FMAs na rizosfera de candeia apresentou valores similaridade, pelo índice de Jaccard, muito próximos para todos os ambientes estudados, variando de 0,52 a 0,63. A maior semelhança foi verificada entre os sítios CRQ2 e CRF2, e a menor entre os CRQ1 e CRF2 (Tabela 10).

**Tabela 10 - Matriz de similaridade obtida pelo índice de Jaccard para a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares presentes na rizosfera de candeia em dois sítios de campos rupestre quartzítico e dois de campo rupestre ferruginoso na Serra do Espinhaço, MG**

CANDEIA	CRQ1	CRQ2	CRF1	CRF2
<b>CRQ1</b>	-	-	-	-
<b>CRQ2</b>	0,60	-	-	-
<b>CRF1</b>	0,59	0,61	-	-
<b>CRF2</b>	0,52	0,63	0,55	-

Fonte: O autor.

Já para a canela-de-ema, a comunidade de FMAs presente na rizosfera variou entre 0,44 e 0,72 (Tabela 11). A maior semelhança foi obtida entre os CRQ1 e CRQ2 (0,72), bem como entre os CRQ2 e CRF1 (0,71), e a menor entre CRQ1 e CRF2 (0,44).

**Tabela 11 - Matriz de similaridade obtida pelo índice de Jaccard para a comunidade de fungos micorrízicos arbusculares presentes na rizosfera de canela-de-ema em dois sítios de campos rupestre quartzítico e dois de campo rupestre ferruginoso na Serra do Espinhaço**

CANELA-DE-EMA	CRQ1	CRQ2	CRF1	CRF2
<b>CRQ1</b>	-	-	-	-
<b>CRQ2</b>	0,72	-	-	-
<b>CRF1</b>	0,60	0,71	-	-
<b>CRF2</b>	0,44	0,64	0,60	-

Fonte: O autor.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Densidade de Esporos e Espécies de FMAs

A densidade de esporos de FMAs e riqueza de espécies contida no solo podem ser influenciadas por uma gama de fatores bióticos e abióticos (JI et al., 2012), entre eles a sazonalidade. Assim, o fato da amostragem ter sido realizada apenas durante a época seca, possivelmente refletiu a situação microbiana específica desta época do ano. Entretanto, como o período seco tende a propiciar esporulação de maior número de espécies de FMAs em relação ao período úmido (CAPRONI, 2003), isso significa que os resultados aqui apresentados apresentam consistência numérica e relevância ecológica satisfatória.

Uma alternativa para incrementar a diversidade de FMAs por morfologia dos esporos, e evitar que a mesma seja subestimada, é o plantio de culturas armadilhas (STUTZ; MORTON, 1996), cujo objetivo é oferecer condições favoráveis e um hospedeiro vivo para que os demais propágulos presentes na amostra de solo (hifas e raízes colonizadas) iniciem a infecção e completem seu ciclo de vida, esporulando. Todavia o estabelecimento de culturas armadilhas demanda tempo e torna a obtenção de resultados mais onerosa, muitas vezes agregando pouco na diversidade. Além disso, há uma tendência de nas culturas armadilhas esporularem apenas espécies bem adaptadas às condições de casa de vegetação (CAPRONI, 2003), ou adaptadas a outros solos, quando esses não são preenchidos totalmente com o solo dos locais amostrados.

A alta esporulação de fungos micorrízicos encontrada em todas as áreas estudadas, com médias gerais superiores a 1200 esporos em 50 mL<sup>-1</sup> de solo, provavelmente está relacionado a uma peculiaridade dos campos rupestres. Uma vez que esporos são estruturas de resistência, a tendência destes ambientes inóspitos é apresentar um reservatório expressivo desta fonte de inóculo, pois a constante lixiviação (associada ao gradiente do relevo), a pouca quantidade de solo e os extremos de temperatura levam a dificuldade de persistência de outras formas de propágulos de FMAs nestes ambientes.

Assim, Carvalho (2010) registrou valores superiores a 700 esporos em 50 mL<sup>-1</sup> solo em ambiente de afloramento rochoso localizado na Serra do Cipó, na Cadeia do Espinhaço. Isso sugere uma tendência, que pode ser geral, dos campos rupestres apresentarem alto reservatório de propágulos de FMAs na forma de esporos, o que, impreterivelmente, não deve ser desconsiderado em projetos de recuperação destas áreas, bem como em acompanhamentos de qualidade de seu solo.

Outro aspecto a ser considerado são as espécies vegetais estudadas. A canela-de-ema é uma monocotiledônea, que sob condições de déficit hídrico, cessa a atividade

fotossintética (OWOSEYE; SANFORD, 1972), podendo, assim, estimular a produção de estruturas de resistência de suas micorrizas, levando a esporulação dos FMAs associados. Já a candeia (Asteraceae) é uma espécie pioneira, nativa de terras altas do sudeste do Brasil e muito utilizada na recuperação de áreas degradadas, o que significa que trata-se de um táxon capaz de se estabelecer em ambientes inóspitos, que pode apresentar o mesmo estímulo de esporulação de suas micorrizas frente a uma situação de estresse hídrico.

Em ambientes intensamente regulados pelos fatores edafo-climáticos, é extremamente plausível que as variáveis densidade e riqueza de esporos se mantenham mais atreladas ao aspecto ecológico dos ambientes estudados do que à litologia. Desta forma, os sítios CRF2 e CRQ2, de flora menos diversa e rochas menos intemperizadas, foram aqueles que apresentaram maior densidade de esporos (Figura 3), em contrapartida, os ambientes de flora mais diversa e maior quantidade de solo, tenderam a exibir maior riqueza de espécies de FMAs (Tabela 5).

A quantidade de espécies de FMAs registradas neste estudo (26) aproxima-se ao obtido por Carvalho (2010) em campos rupestres da Serra do Cipó (33 espécies). Quando comparada ao banco de registros publicados para outros ecossistemas, como Amazônia (35 espécies) e Caatinga (30 espécies), verifica-se também valores próximos, sendo que nestes outros estudos foram utilizadas as técnicas de cultivos armadilha e/ou amostragem em diferentes estações do ano. Desta forma, essa informação corrobora que a amostragem realizada no presente estudo foi suficiente para obter um retrato da diversidade de FMAs nos campos rupestres.

A riqueza de espécies de FMAs dos campos rupestres se evidencia como muito importante e reforça a hipótese de que estes se comportam como grandes sítios de diversificação também para este grupo de micro-organismos (CARVALHO, 2010). Segundo a autora os gêneros *Glomus* e *Acaulospora* são grandes responsáveis pelo incremento no número de táxons registrados em áreas rupestres da Cadeia do Espinhaço.

Todavia, os gêneros *Acaulospora* e *Glomus* são detentores do maior número de organismos identificados dentro do filo Glomeromycota (SILVA et al., 2014), de maneira que a família Glomaceae predomina na maioria dos ecossistemas brasileiros (STÜMER; SIQUEIRA, 2008), sugerindo melhor adaptação ao ambiente (MELLO et al., 2012). Espécies do gênero *Acaulospora* são mais frequentes em solos ácidos (STÜRMER, 1999; STÜRMER; BELLEI, 1994), o que fundamenta sua grande ocorrência neste estudo, onde os solos possuem pH inferior a 4,8.



Assim, a dominância conjunta entre espécies pertencentes ao gênero *Acaulospora* e *Glomus* é amplamente relatada em solos com baixo pH, tanto em termos de abundância quanto diversidade (TRUFEM; 1990, 1995; GOMES; TRUFEM, 1998; SOUZA et al., 2003; CARRENHO et al., 2002; CAPRONI et al., 2003) corroborando os resultados aqui exibidos.

#### 4.2. Glomalina

Os elevados valores obtidos para as frações de glomalina em áreas de CRF em relação às de CRQ podem ser explicados a partir das características químicas do solo. Pois além da limitação nutricional, comum a ambos ambientes, os solos do CRF apresentam elevados teores de Fe. Isso pode estimular os fungos a produzirem maiores quantidades de glomalina, pois o Fe é um elemento constituinte da molécula desta proteína e sua presença excessiva no solo pode dificultar o desenvolvimento vegetal.

O grau de preservação dos solos também tende a refletir no acúmulo da glomalina neste compartimento. Áreas agrícolas, por exemplo, tendem a apresentar menores valores, em torno de 0,5 e 3 mg g<sup>-1</sup> solo, para GFE e GT, respectivamente (RILLIG et al., 2003). Já em fragmentos de Mata Atlântica Melo (2004) extraiu 22 mg PSRG g<sup>-1</sup> de solo; enquanto que para solos de floresta, preservados, Rilling et al. (2001) conseguiram extrair até 60 mg g<sup>-1</sup> solo da proteína. Isso demonstra relevância na utilidade desta ferramenta como indicador de qualidade do solo.

#### 4.3. Colonização das raízes

A colonização é uma variável cuja análise deve ser cautelosa, pois o mesmo FMA pode apresentar diferentes graus de colonização sobre diferentes espécies vegetais (VAN DER HEIJDEN et al., 1998). Além disso, plantas necessitam de diferentes graus de colonização, de acordo com a fertilidade do solo. Do mesmo modo, determinadas espécies de FMAs crescem mais em hifas extrarradiculares, já outras em hifas intrarradiculares, como as do gênero *Glomus* (TRESEDER et al., 2003). Isto significa que a observação isolada da colonização não indica exatamente o grau de eficiência da associação.

Em geral, solos com teores de fósforo menores que 40 mg dm<sup>-3</sup> favorecem a colonização radicular por espécies de FMAs (COLLINS; FOSTER, 2009). Em contrapartida, durante a época seca, a planta, com metabolismo reduzido, pode restringir a colonização, estimulando a esporulação. Isto pode explicar os baixos valores de colonização micorrízica das raízes observados neste estudo e os altos valores verificados para quantidade de esporos.

A colonização micorrízica pode variar muito entre espécies vegetais para um único isolado fúngico e entre isolados de FMA para uma mesma planta (POUYU-ROJAS et

al. 2006). Isso foi verificado por Mergulhão et al. (2009) ,ao estudar diferentes plantas hospedeiras e ciclos de multiplicação em cultura-armadilha, onde o amendoim apresentou maiores valores de colonização radicular, enquanto para o sorgo foi registrado maior número de esporos no segundo e no terceiro ciclo da cultura-armadilha. Desta forma, a relação fungo/planta/colonização das raízes é muito intrínseca de cada situação abordada, o que justifica a maior taxa de colonização verificada para candeia (35,1%) em relação à canela-de-ema (18,4%).

O grupo de fungos *Dark Septate Endophytes* (DSE) exibiu maiores valores de colonização que os FMAs para algumas áreas (Tabela 6). A ocorrência de DSE, de maneira concomitante com FMAs, sugere possibilidade de maior espectro de benefícios às plantas, pois ambos os grupos de fungos podem atuar no favorecimento de seus hospedeiros. Assim, quão maior a quantidade de fungos desempenhando funções semelhantes dentro do mesmo ecossistema, maiores as possibilidades de interações durante todo o ano. Desta maneira há a probabilidade de que, em condições específicas, um determinado grupo de fungos seja favorecido, ora prevalecendo os FMAs, ora os DSE.

#### **4.4. Análises ecológicas**

A paisagem dos campos rupestres é formada por um acirrado mosaico composto por diferentes ambientes. Assim, é comum verificar dificuldade no estabelecimento de uma relação clara entre as condições edáficas e a ocorrência e diversidade de FMAs (STÜRMER; SIQUEIRA, 2008; SILVA, 2015). Todavia, as variáveis GT e GFE foram responsáveis por grande parte do direcionamento das amostras na PCA, uma vez que os valores registrados de Fe foram, em média, 2111% mais elevados nos CRF em relação aos CRQ e positivamente correlacionados com a deposição dessa proteína pelos FMAs. Neste sentido, maior sensibilidade foi atribuída a tais variáveis.

Medidas de diversidade tem o objetivo de expressar a complexidade estrutural e ecológica das interações bióticas e abióticas da comunidade (MARTINS; SANTOS, 1999), sendo que a adoção de técnicas de análises multivariadas favorece tal expressão por considerar uma gama de fatores e não um único valor reducionista. Neste sentido, tanto os valores de diversidade obtidos pelo cálculo dos índices, assim como o emprego de multivariadas, foram essenciais para justamente evidenciar a acirrada complexidade ambiental dos campos rupestres, demonstrada pela falta de direcionamento da PCoA, pelo teste t de Hutcheson (Tabela 9) e similaridade de Jaccard (Tabelas 10 e 11) onde não foi possível estabelecer um padrão de comparação da diversidade entre as áreas estudadas. Desta forma a

não obtenção de padrões de ocorrência e distribuição sugerem que tal complexidade não deve ser desconsiderada em estudos futuros.

De acordo com Jacobi et al. (2015) a gama de interações em campos rupestres sobre canga é mal conhecida. Além das pesquisas se concentrarem na porção sul do Quadrilátero Ferrífero, adicionalmente, a maioria dos estudos são direcionados às relações entre plantas arbustivas e seus insetos visitantes. Ainda segundo os autores, somente uma porção de espécies de plantas tem sido pesquisada exaustivamente, e em cada caso a rede de interações desvendada foi muito complexa. Isso corrobora a complexidade verificada no presente estudo, pois a interação entre raiz e FMA, além de possuir caráter microscópico, trata-se de uma relação estabelecida abaixo da superfície do solo, ambiente totalmente heterogêneo e dinâmico.

Notou-se que a dominância foi o principal fator responsável pela tendência de inversão dos valores esperados para os índices de Shannon, Simpson e Pielou. Assim, o comportamento observado para os valores do Índice de diversidade de Shannon pode ser compreendido em função da essência do índice, já que este aborda uma relação entre abundância e riqueza, sendo influenciado pela uniformidade dos valores de abundâncias das espécies. Para Brower e Zar (1984) uma comunidade com alta diversidade terá baixa dominância; entretanto quando a comunidade apresenta elevada riqueza de espécies de FMAs, mas sofre dominância por apenas algumas espécies deste grupo, como observado neste estudo por meio das espécies *Glomus macrocarpum* e *Acaulospora mellea* (TABELA 3), isso faz com que os valores de diversidade  $H'$  sejam reduzidos em razão da acentuada heterogeneidade de distribuição.

Os índices se complementam, demonstrando que à medida que a abundância relativa se expressa de maneira mais distribuída entre as espécies de determinado sítio, maior a equitabilidade de Pielou ( $J'$ ). Desta forma, o valor máximo deste índice seria verificado caso as espécies fossem igualmente abundantes.

Cada comunidade biológica apresenta comportamento intrínseco, e seu estudo depende da utilização de critérios. Neste estudo a avaliação da comunidade de FMAs do solo é baseada na morfologia dos esporos, logo dependente do padrão de produção e acumulação destes no sistema. O que se observa, no geral, é que à medida que o ecossistema vai atingindo maior equilíbrio, com maior intemperismo e acumulação de solo, as espécies vegetais vão se diversificando e, em consequência, o número de espécies de FMAs tende a aumentar. Apesar de a diversidade vegetal resultar em uma maior diversidade de micorrizas, como reflexo, há a redução do número total de esporos produzidos para estes locais e, portanto, redução do

número total de indivíduos. Neste sentido, presume-se que o ambiente torna-se menos estressante e mais isolado dos extremos climáticos.

Isso também pode ser relacionado ao próprio âmbito de estratégia de vida dos FMAs, onde em determinados ambientes pode prevalecer a ocorrência de espécies estrategistas *r*, que produzem muitos esporos, porém de tamanho menor, ou de espécies tipo *k* estrategistas cujos esporos são maiores no entanto produzidos em menores quantidades (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Portanto, em sítios onde é verificada maior presença de espécies tipo *r*, estas podem refletir em maiores valores de dominância, exigindo maior cautela na adoção e interpretação dos índices de diversidade tradicionais.

No que se refere à análise de espécies indicadoras, o motivo de apenas o CRQ2 não ter exibido espécies preferenciais possivelmente está relacionado à paisagem do local. Pois, dentre os sítios amostrados, o CRQ2 é aquele cuja florística é composta por um agrupamento praticamente puro entre candeia e canela-de-ema, onde 98,9% dos indivíduos pertencem à segunda espécie. Isso refletiu em uma menor riqueza de espécies de FMAs, ausência de espécies exclusivas e maior ocorrência de espécies dominantes. Desta forma, os resultados obtidos para a ISA estão atrelados a ocorrência e distribuição de espécies raras e podem ser utilizados no acompanhamento da qualidade dos CRQ1, CRF1 e CRF2.

Apesar da semelhança entre ambientes verificada pelo índice de Jaccard, a presença restrita de espécies de FMAs em cada um destes ambientes pode ter elevado peso na dinâmica do ecossistema como um todo, sendo fundamental para a expressão da paisagem, sobretudo, não podendo ser desconsiderado.

## 5. CONCLUSÕES

Das 26 espécies de Fungos Micorrízicos Arbusculares registradas neste estudo, 65,4% são compartilhadas entre candeia e canela-de-ema em pelo menos duas das áreas estudadas.

A diversidade da comunidade de FMAs do solo é considerada semelhante entre os campos rupestres quartzítico e ferruginoso para candeia, contudo superior em campos rupestres quartzíticos para canela-de-ema.

Diferenças no grau de intemperismo dos afloramentos rochosos e diversidade florística refletem em diferentes arranjos no compartimento de FMAs dos solos de campos rupestres.

## REFERÊNCIAS

BROWER, J. E.; ZAR, J. H. Community similarity. In: BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field & Laboratory for General Ecology**. Dubuque: Win C. Brown Publishers, p. 161-164, 1984.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

CARRENHO, R.; TRUFEM, S.F.B.; BONONI, V.L.R. Effects of using different host plants on the detected biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi from an agroecosystem. **Revista Brasileira Botânica**, v.25, n. 95, p. 95-101, 2002.

CARVALHO, F.; SOUZA, F.A.; CARRENHO, R.; MOREIRA, F.M.S.; JESUS, E.C.; FERNANDES, G.W. The mosaic of habitats in the high-altitude Brazilian rupestrian fields is a hotspot for arbuscular mycorrhizal fungi. **Applied Soil Ecology**, v. 52, p. 9-19, 2012.

CAPRONI, A.L.; FRANCO, A.A.; BERBARA, R.L.L.; Capacidade infectiva de fungos micorrízicos arbusculares em áreas reflorestadas após a mineração de bauxita no Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 38, v.8, p.937-945, 2003.

CLIMATE-DATA.OGR. Disponível em <http://pt.climate-data.org/location/176005/>. Acesso em: 01 mar. 2016.

COLLINS, C.D.; FOSTER, B. Community-level consequences of mycorrhizae depend on phosphorus availability. **Ecology**, v.90, n.9, p. 2567-2576, 2009.

CONCEIÇÃO, A.A.; PIRANI, J.R. Diversidade em quatro áreas de campos rupestres na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: espécies distintas, mas riquezas similares. **Rodriguésia**, 2007.58 p.193-206. 2007.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. **Informe Mineral 1º/2015**, 21p., 2015.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.

DUFRÊNE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: the need for flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, v. 67, p. 345-366, 1997.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica: Neossolos litólicos**. Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html)>. Acessado 10/03/2016.

FLORES-AYLAS, W.W.; SAGGIN-JÚNIOR, O.J.; SIQUEIRA, J.O.; DAVIDE, A.C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 257-266, 2003.

GERDEMANN, J.W., NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet-sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological Society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GOMES, S.P., TRUFEM, S.F.B. Fungos Micorrízicos Arbusculares (Glomales, Zygomycota) na Ilha dos Eucaliptos, Represa do Guarapiranga, São Paulo. **Acta Botânica Brasílica**, v.12, n.3, p. 393-401, 1998.

GRACE, Carol; STRIBLEY, David P. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycological Research**, v. 95, n. 10, p. 1160-1162, 1991.

HAMMER, Øyvind; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST-PAlaeontological STatistics, ver. 1.89. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

HARLEY, R. M. Introduction In: STANNARD, B. L. (Ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil**. Royal Botanic Gardens, Kew, p.1-42.1995.

JACOBI, C.M.; CARMO, F.F. The contribution of ironstone outcrops to plant diversity in the Iron Quadrangle, a threatened Brazilian landscape. **Ambio**, v. 37, p. 324-326. 2008.

JACOBI, C.M.; MOURÃO, F.A.; ANTONINI, Y.; FAGUNDES, R.; KUMAGAI, A. F. Interações Ecológicas em Ambientes de Canga do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CARMO, F.F; KAMINO, L.H.Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: áreas prioritárias para conservação da diversidade geológica e biológica, patrimônio cultural e serviços ambientais**. Belo Horizonte, 3i Editora, 552 p., 2015.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, vol. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JL, B.; BENTIVENGA, S.P.; CASPER, B.B. Comparisons of AM fungal spore communities with the same hosts but different soil chemistries over local and geographic scales. **Oecologia**, v.168, p. 187-197, 2012.

KOSKE, R.E.; GEMMA, J.N. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. **Mycological Research**, v. 92, n. 4, p. 486-488, 1989.

MCCUNE, B.; MEFFORD, M. **PC-ORD - Multivariate Analysis of Ecological Data**. Version 6.0. Gleneden Beach, MjM Software, 2011.

MARSCHNER, H. Nutrient dynamics at the soil-root interface (Rhizosphere). In: READ, D.J. et al. (Ed.). **Mycorrhizas in Ecosystems**. Cambridge: University Press, p. 3-12, 1994.

MARTINS, F.R.; SANTOS, F.A.M. Técnicas de estimativa da biodiversidade. **Revista Holos**, 236-267, 1999.

MELLO, C.M.A.; SILVA, G.A.; VIEIRA, H.E.E.; SILVA, I.R.; MAIA, L.C.; OEHL, F. *Fuscutata aurea*, a new species in the Glomeromycetes from cassava and maize fields in the Atlantic rainforest zone of Northeastern Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 95, n. 1-2, p. 267-275, 2012.

MELO, A.M.M. **Fungos micorrízicos arbusculares (Glomeromycota) em fragmentos de Mata Atlântica no centro de endemismo Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Biologia de Fungos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

MERGULHÃO, A.C.D.E.S.; FIGUEIREDO, M.D.V.B.; BURITY, H.A.; MAIA, L.C. Hospedeiros e ciclos sucessivos de multiplicação afetam a detecção de fungos micorrízicos

arbusculares em áreas impactadas por mineração gesseira. **Revista Árvore**, v. 33, p. 227-236, 2009.

MESSIAS, M.C.T.B; LEITE, M.G.P; MEIRA-NETO, J.A.A.; KOZOVITS, A.R.; TAVARES, R. Soil-Vegetation Relationship in Quartzitic and Ferruginous Brazilian Rocky Outcrops. **Folia Geobotânica**, v. 48, n. 4, p. 509-521, 2013.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Editora UFLA, Lavras, 2.ed atual. e ampl. 729p, 2006.

MOURÃO, A., STEHMANN, J.R. Levantamento da flora do campo rupestre sobre canga hematítica couraçada remanescente na Mina do Brucutu, Barão de Cocais, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 58, p. 775-786, 2007.

NOBRE, C. P. Fungos Micorrízicos Arbusculares no Bioma Caatinga: **Ecologia e Caracterização da Estrutura da Comunidade de FMA em Função da Variação na Fisionomia Vegetal**. 99p. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2014.

OLIVEROS, J.C. (2007-2015) Venny. An interactive tool for comparing lists with Venn's diagrams. Disponível em: <http://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/index.html>. Acesso em: 10 abr. 2016.

OWOSEYE, J.A.; SANFORD, W.W. An ecological study of *Vellozia schnitzleinia*, a drought-enduring plant of Northern Nigeria. **Journal of Ecology**, v. 60, p. 807-817, 1972.

OWUSU-BENNOAH, E; WILD, A. Auto radiography of the depletion zone of phosphate around onion roots in the presence of vesicular arbuscular mycorrhiza. **New Phytologist**, v. 82, p. 133-140, 1979.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J.O.; SANTOS, J.G.D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.3, 2006.

PURIN, S., RILLIG, M.C. Immuno-cytolocalization of glomalin in the mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1000–1003, 2008.

RILLIG, M. C.; MAESTRE, F. T.; LAMIT, L. J. Microsite differences in fungal hyphal length, glomalin, and soil aggregate stability in semiarid Mediterranean steppes. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 9, p. 1257-1260, 2003.



RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 233, n. 2, p. 167-177, 2001.

SANTOS, J.G.D. **Riqueza de fungos micorrízicos arbusculares no solo e crescimento inicial de espécies arbóreas nativas**. 2008. 80f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2008.

SCHAEFER, C.E.; CÂNDIDO, H.G.; CORRÊA, G.R.; PEREIRA, A.; NUNES, J.A.; SOUZA, OG.F.; MARINS, A.; FERNANDES FILHO, E.; KER, J.C. Solos Desenvolvidos Sobre Canga Ferruginosa no Brasil: Uma Revisão Crítica e Papel Ecológico de Termiteiros. In: CARMO, F.F.; KAMINO, L.H.Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil: Áreas Prioritárias para Conservação da Diversidade Geológica e Biológica, Patrimônio Cultural e Serviços Ambientais**. Belo Horizonte, 3i Editora, 552 p., 2015.

SILVA, C.P. **Conteúdo de Proteína do Solo Relacionada à Glomalina em Solos do Município de Irauçuba/Ce e sua Relação com a Degradação**. 2015, 48p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, I.R.; MELLO, C.M.A.; NETO, R.A.F.; DA SILVA, D.K.A.; DE MELO, A.L.; OEHL, F.; MAIA, L.C. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi along an environmental gradient in the Brazilian semiarid. **Applied Soil Ecology**, v. 84, p. 166-175, 2014.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Mycorrhizal symbiosis. 2nd ed. London: **Academic**, 605 p., 1997.

SOUSA, C.S.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LIMA, F.S.; MAIA, L.C.; OHEL, F. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of Caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal**, v. 24, n.1, p. 137-148, 2014.

SOUZA, R.G., MAIA, L.C., SALES, M.F.; TRUFEM SFB. Diversity and infectivity potencial of arbuscular mycorrhizal fungi in an area of “Caatinga” in the Xingó, Region, State of Alagoas, Brazil. **Rev Brasílica Botanica**, v.26, n. 1 , p 49-60, 2003.

STÜRMER, S.L. Evolução, classificação e filogenia dos fungos micorrízicos arbusculares. **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, p. 797-817, 1999.

STÜRMER, S. L.; BELLEI, M. M. Composition and seasonal variation of spore populations of arbuscular mycorrhizal fungi in dune soils on the island of Santa Catarina, Brazil. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, n. 3, p. 359-363, 1994.

STÜRMER, S.L.; SIQUEIRA, J.O. Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. **Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros**. UFLA, Lavras, p. 537-584, 2008.

STUTZ, J.C.; MORTON, J.B. Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. **Canadian Journal of Botany**, v. 74, n. 12, p. 1883-1889, 1996.

TRESEDER, K.K.; EGERTON-WARBURTON, L.M.; ALLEN, M.F.; CHENG, Y.F.; OECHEL, W.C. Alteration of soil carbon pools and communities of mycorrhizal fungi in chaparral exposed to elevated carbon dioxide. **Ecosystems**, v. 6, n. 8, p.786-796, 2003.

TRUFEM, S.F.B. Aspectos ecológicos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares da mata tropical úmida da Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 4, p. 31-45, 1990

TRUFEM, S.F.B. Ecological aspects of arbuscular mycorrhizal fungi from coastal sand dunes community of Ilha do Cardoso, SP, Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.18, p. 51-60, 1995.

VAN DER HEIJDEN, M.G.A.; KLIRONOMOS, J.N.; URSIC, M.; MOUTOGLIS, P.; STREITWOLF-ENGEL, R.; BOLLER, T.; WIEMKEN, A.; SANDERS, I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. **Nature**, v. 396, n. 6706, p. 69-72, 1998.

VASCONCELOS, M.F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do leste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 34, n. 2, p. 241-246, 2011.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**. v. 161, n. 8, p. 575–586, 1996.

ZAR, J. **Biostatistical Analysis**. Upper Saddle River, Prentice Hall, 2010.

**APÊNDICE A - Características químicas dos solos dos campos rupestres quartzíticos (CRQ) e ferruginosos (CRF) selecionados para estudo da comunidade de fungos micorrízicos arbusculares na Serra do Espinhaço, em Conceição do Mato Dentro, Minas Gerais, Brasil**

Sítio	Espécie	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	m	V	M.O	Cu	Fe	Mn	Zn
		água	mg dm <sup>-3</sup>					cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%	dag kg <sup>-1</sup>		mg dm <sup>-3</sup>		
CRQ1	V	4,2	9,1	30,4	0,1	0,1	0,4	14,3	0,3	0,6	14,6	57,0	1,8	3,50	0,3	13,3	0,1	0,3
CRQ2	V	4,7	3,8	22,1	0,2	0,2	0,2	5,0	0,4	0,6	5,4	33,9	7,3	2,27	0,0	12,8	0,1	0,2
CRF1	V	4,2	3,5	35,9	0,6	0,4	0,3	21,8	1,1	1,3	22,9	19,2	4,6	5,23	0,9	308,6	1,1	0,7
CRF2	V	4,7	4,4	41,5	0,5	0,2	0,2	13,4	0,8	0,9	14,2	19,7	5,5	5,11	0,3	473,6	0,5	0,4
CRQ1	C	4,1	6,8	22,1	0,2	0,1	0,4	17,3	0,3	0,8	17,6	58,6	1,8	3,58	0,0	26,6	0,1	0,3
CRQ2	C	4,6	5,6	22,1	0,2	0,1	0,2	6,4	0,4	0,6	6,8	38,7	5,6	2,30	0,3	15,9	0,2	0,3
CRF1	C	4,1	5,7	41,5	0,7	0,2	0,4	22,6	0,9	1,4	23,5	29,1	4,1	5,31	0,3	276,7	0,8	0,8
CRF2	C	4,8	7,0	88,5	0,9	0,4	0,2	16,4	1,5	1,7	17,9	11,6	8,6	5,15	0,3	393,7	0,9	0,6

V= Vellozia; C = Candeia.